

Kväverikt spillvatten från sprängämnesproduktion – Potentiell råvara i gödsel?

*Nitrogen-rich process water from the production of explosives
- a potential source material for fertilizer production?*



Foto: Pia Sundvall

Pia Sundvall



Examensarbeten

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

2016:3

Kväverikt spillvatten från sprängämnesproduktion – Potentiell råvara i gödsel?

*Nitrogen-rich process water from the production of explosives
- a potential source material for fertilizer production?*

Pia Sundvall

Nyckelord / Keywords:

Kväve, Ammonium, Nitrat, Gödsling, Fertilizer, Resursutnyttjande, Sprängämnesrester, Restprodukt, Recirkulation, / *Nitrogen, Ammonium, Nitrate, Fertilizer, Resource, Explosives, Residue, Recirculation*

ISSN 1654-1898

Umeå 2016

Sveriges Lantbruksuniversitet / *Swedish University of Agricultural Sciences*

Fakulteten för skogsvetenskap / *Faculty of Forest Sciences*

Jägmästarprogrammet / *Master of Science in Forestry*

Examensarbete i biologi / *Master degree thesis in Biology*

EX0769, 30 hp, avancerad nivå A2E/ *advanced level A2E*

Handledare / *Supervisor*: Sandra Jämtgård

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

Bitr handledare / *Assistant supervisor*: Torgny Näsholm

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

Extern handledare / *External supervisor*: Malin Suup, Miljöingenjör Yttre Miljö, LKAB

Examinator / *Examiner*: Tord Magnusson

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

I denna rapport redovisas ett examensarbete utfört vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Skogsvetenskapliga fakulteten, SLU. Arbetet har handledts och granskats av handledaren, och godkänts av examiner. För rapportens slutliga innehåll är dock författaren ensam ansvarig.

This report presents an MSc/BSc thesis at the Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, SLU. The work has been supervised and reviewed by the supervisor, and been approved by the examiner. However, the author is the sole responsible for the content.

Förord

Det här examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng på avancerad nivå och utgör ett samarbete mellan Sveriges Lantbruksuniversitet och Luossavaara Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB). Arbetet utfördes i Umeå under hösten 2015 vid SLU och institutionen för skogens ekologi och skötsel.

Jag vill rikta ett stort och ödmjukt tack till min handledare Sandra Jämtgård för att du tog dig an det här projektet med ett sådant engagemang. Du har varit ett stort stöd och en stadig klippa närhelst jag stött på svårigheter i processen. Tack vare dig har jag aldrig känt mig ensam i mitt arbete och ditt kontaktnät inom och utanför institutionen har varit mycket värt. Jag har känt mig välkommen och delaktig i alla sammanhang.

Jag vill också tacka min externa handledare Malin Suup för att du gett mig möjligheten att genomföra det här projektet i samarbete med LKAB. Utan din koordination hade det aldrig varit möjligt.

Tack till Skogforsk för bidrag med björk- och contortafrön via Monica Lundström samt kalkad torv genom Margareta Edvardsson och Jörgen Hajek. Slutligen tack också till Marie-Charlotte Nilsson-Hegethorn på institutionen för skoglig ekologi och skötsel för aspfrön. Era bidrag gjorde tillväxtförsöket möjligt.

Min familj och mina vänner som hejat på mig när jag behövt det!
Rikard, för att du med glada tillrop, tålamod och en oändlig pepp har varit med i varje steg av projektet, ord räcker inte till.

Sammanfattning

Kväve är en av de mest begränsande faktorerna för tillväxt hos vaskulära växter och en viktig ingrediens i konstgödsel, som idag kommit att bli en förutsättning för höga skördenivåer inom jord- och skogsbruk. Att framställa reaktivt kväve för odling är en överlevnadsfaktor för människor världen över, men skapar inte bara tillväxt, utan rubbar också den naturliga kvävebalansen. Processen med vilken vi framställer reaktivt kväve är också en process som kräver mycket energi, vilken ofta kommer från icke förnyelsebara fossila bränslen. Sammantaget blir framställningen och användningen av kväve i konstgödsel miljönegativ i dubbel bemärkelse.

För att minska den negativa miljöpåverkan som användningen av reaktivt kväve har, undersöks i det här examensarbetet en möjlighet till recirkulation av kväveråvaran. I den statligt ägda gruvkoncernen LKAB använder dotterbolaget Kimit reaktiva kväveformer för att framställa sprängämne. Under produktionen lakas en viss del av kväveformerna ut i fabriken spillvatten och syftet med det här examensarbetet är att undersöka om det finns möjlighet att använda det utlakade kvävet för tillväxt vid odling.

I den här studien analyserades innehållet i Kimit's spillvatten med avseende på eventuella toxiska ämnen och sedan anlades ett odlingsförsök där kvävet i spillvattnet användes som råvara i ett sammansatt gödsel. Kimitgödsel jämfördes sedan med avseende på tillväxt mot ett befintligt marknadsmässigt gödsel, samt mot ett gödsel där ingen kvävekälla tillsattes. Totalt 125 plantor av asp, glasbjörk, contortatall och spenat, gödslades med 5 olika näringslösningar. Syftet var att efter 5 veckors behandling analysera om tillväxt kunde kopplas till kvävekällan i Kimit's spillvatten, samt om effekten kunde vara jämförbar mot ett marknadsmässigt gödselmedel. De parametrar som mättes för analysen var torrsvikt, kväveinnehåll, topp- och rotskottens längd och diameter samt pH i odlingssubstratet före och efter försöksperioden.

Resultaten av odlingsförsöket visar med statistisk signifikans att ökad tillväxt kan kopplas till ökad koncentration av tillsatt Kimitkväve. En högre tillväxt kunde också uppmätas då Kimitkvävet tillsattes som ett komplett gödsel, jämfört med om det tillsattes i sin rena form. I 12 av 15 uppmätta tillväxtparametrar gick det heller inte att skilja det Kimitbaserade gödslet från målreferensen, Rika S, när alla andra förutsättningar var lika.

I och med detta kan den här studien fastslå att det finns råvarupotential i Kimit's kväverika spillvatten. För att fastställa hur stor potentialen är samt vilka de långsiktiga effekterna av spillvattenanvändningen blir, rekommenderas vidare studier.

Nyckelord: Kväve, Ammonium, Nitrat, Gödsling, Fertilizer, Resursutnyttjande, Sprängämnesrester, Restprodukt, Recirkulation,

Summary

Nitrogen is one of the most limiting factors for growth of vascular plants and it is a key ingredient in fertilizer which has become a prerequisite for high yield levels in agriculture and forestry. The production of reactive nitrogen for agriculture is crucial for the survival of people around the world, but beside its effect on growth, the utilization of this resource also disturbs natural nitrogen balances. The process by which we produce reactive nitrogen also requires a lot of energy, which often comes from non-renewable fossil fuels. Our use of nitrogen in fertilizer thereby come to adversely affect the environment in two ways.

In order to reduce the negative environmental impact of reactive nitrogen has, this thesis investigates a possibility to recycle residue nitrogen raw material. In the state-owned mining company LKAB subsidiary Kimit uses reactive forms of nitrogen to produce explosives. During the explosives production process, nitrogen dissolves into the plant's wastewater and the purpose of this study is to investigate if it is possible to use the nitrogen leached, for plant growth in a greenhouse.

This study analyzed the content of Kimit wastewater for possible toxic substances, then laid out a greenhouse experiment in which the wastewater was used as a nitrogen raw material in a compound fertilizer. With respect to growth parameters the Kimit based fertilizer was then compared to a commercially available fertilizer, and to a non-nitrogen compound fertilizer. A total of 125 plant individuals, consisting of aspen, white birch, lodgepole pine and spinach were given 5 different fertilization treatments. The aim was to analyze growth parameters after 5 weeks of treatment, and link them to the amount of added N with the Kimit waste water. The parameters measured for this assay were dry weight, shoot and root length, nitrogen content and diameter. Also pH of the culture medium was measured before and after the trial period.

The results of the cultivation experiment shows with statistical significance that increased growth can be linked to an increased concentration of added Kimit nitrogen. A higher growth could also be measured when Kimit nitrogen was added as a complete fertilizer as opposed to if it was added in its pure form. In 12 out of 15 measured growth parameters it was not possible to statistically separate the growth result from Kimit based treatment, to growth obtained with the reference fertilizer Rika S, when all other conditions were equal.

Nyckelord: Nitrogen, Ammonium, Nitrate, Fertilizer, Resource, Explosives, Residue, Recirculation

Innehållsförteckning

Förord

Sammanfattning

1.	Inledning.....	6
2.	Bakgrund.....	8
2.1	LKAB.....	8
2.2	LKAB Kimit AB	8
2.2.1	Beskrivning av sprängämnesproduktionen.....	9
2.2.2	Kimits tillstånd samt villkor för utökad produktion.....	10
2.2.3	Medelvärden för Kimits spillvatten 2014	10
2.3	Växtbiologi.....	11
2.3.1	Generellt.....	11
2.3.2	Mikro- och makronäringsämnen.....	11
2.3.3	Spårämnen	12
2.3.4	Kväve	13
2.3.5	Kvävegödsling i Sveriges skogar	14
2.4	Syfte.....	15
2.5	Frågeställningar	15
2.6	Avgränsningar	15
3.	Material och Metod	16
3.1	Studiens upplägg	16
3.2	Provtagning.....	16
3.3	Vattenanalys.....	16
3.4	Odlingsförsök.....	17
3.5	Behandlingar	18
3.6	Försöksarter.....	21
3.6.1	Glasbjörk (Betula Piescens)	21
3.6.2	Asp (Populus Tremula)	21
3.6.3	Contorta (Pinus Contorta).....	22
3.6.4	Spenat (Spinacia oleracea L.)	22
3.7	Datainsamling.....	22
3.8	Dataanalys	23
4.	Resultat.....	24
4.1	Vattenanalys	24
4.2.1	Contorta.....	27
4.2.2	Spenat	27
4.2.2	Asp	26
4.3	Kol/kväveinnehåll	28

4.4	pH i odlingssubstratet (före och efter)	28
4.5	Växternas utseende.....	29
5.	Diskussion	30
5.1	Vattenanalys	31
5.2	Tillväxt.....	31
5.3	Kol/kväveinnehåll	33
5.4	pH i odlingssubstratet (före och efter).....	34
5.5	Växternas utseende	35
5.6	Möjliga användningsområden.....	35
6.	Slutsatser/Rekommendationer	37
7.	Referenser	38
8.	Bilagor.....	42

1. Inledning

Under de senaste 100 åren har den mänskliga befolkningen i världen vuxit i snabb takt. År 1900 fanns det 1,7 miljarder människor på jorden, medan man idag uppskattar den totala folkmängden till närmare 7,7 miljarder (SCB, 2014). Att effektivt bruka jorden är en nödvändighet för att vi ska kunna producera livsmedel och andra råvaror till allt fler människor. Konstgödsel har för många kommit att bli en avgörande överlevnadsfaktor, och är numera också en förutsättning för den höga nyttjandegrad, med vilken vi världen över tillgodogör oss ekosystemtjänster (Ahlgren 2015; Smil 1999; Van Breemen, 2002).

Vår moderna skogs- och livsmedelsproduktion innebär att grödor odlas under nästintill optimala näringsförhållanden. De ämnen vi tillför jorden för att gödsla, består i stor utsträckning av fosfor och kalium, men till allra störst del kväve som näst efter solljus koldioxid och vatten är den viktigaste faktorn för tillväxt hos vaskulära växter (Raven m.fl. 1999, Srivastava och Singh, 1999). Näringsåterförsel har historiskt sett ofta bestått av restprodukter så som djurspillning, aska och kompostmaterial. Idag används utöver dessa produkter även en stor mängd gödsel som består av specifikt framställda och sammansatta näringsföreningar, där kväve är en av huvudkomponenterna (Albertsson och Blomquist. 2009).

Under 2014 beräknades den totala kvävemängden som konsumerades i globala gödselsammanhang till 113,7 miljoner ton och prognosen för kommande års användning tyder inte på minskande siffror (Heffer och Prud'homme, 2014). Eftersom kväve förekommer i hög abundans som kvävgas i atmosfären, använder man sedan ungefär hundra år tillbaka, den så kallade Haber-Bosch metoden för att omvandla kvävgasen till ammoniak och ammonium, samt genom ett oxideringssteg även till nitrat. Både ammonium och nitrat är växttillgängliga kväveformer. Haber-Bosch är en exoterm reaktion där aktiveringsenergin för den önskvärda omvandlingen är hög. Detta gör att energi åtgår i form av hög temperatur och högt tryck (Kandemir m.fl. 2013). Icke förnyelsebara fossila bränslen används ofta som energi och råvarukälla för Haber-Bosch (Heichel, 1987; Galloway m.fl. 1995). Detta faktum gör indirekt slutprodukten - kvävegödsel dubbelt miljönegativ (Ahlgren m.fl. 2015).

Det är inte bara genom kvävegödsling och användning av fossila bränslen som människan tillför naturen kväve. Ammonium och nitrat är två kväveformer som utgör en vanlig huvudkomponent vid framställning av sprängämnen som används bland annat inom gruv- och bergarbetarindustrin (SveBefo. 2006). I och med att vi använder kväve, för att tillgodose mänskliga behov, påverkar vi oundvikligen jordens naturliga kvävebalans (Hedin m.fl. 1995; Vitousek m.fl. 1997; Rockström m.fl. 2009). Den inverkan mänskligheten har på kvävecykeln kan dock begränsas om vi i större utsträckning än idag recirkulerar befintliga kväveresurser. Redan framställt reaktivt kväve kan potentiellt nyttjas i flertalet processer och på så sätt främja såväl ekonomi som miljö i sammanhanget.

Den statligt ägda gruvkoncernen Luossavaara Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB) är i stort behov av sprängämne till sina underjordsgruvor och dagbrott. Sprängämnesproduktionen sker i dotterbolaget LKAB Kimits fabrik där den dominerande råvaran är just kväve i växttillgängliga former. Kväve förekommer också som en väsentlig restprodukt i det spillvatten som efter produktion lämnar Kimits fabrik (LKAB. 2014). Ett riktvärde anknutet till ett tillstånd anger

hur stor mängd kväve som får avbördas med spillvattnet dels per månad men också per år. För att fortsatt hålla sig inom tillståndsangivna värden även vid planerad produktionsökning, samt för att minska sin miljöpåverkan, undersöker LKAB olika möjligheter till kväverening, eller avsättning av spillvattnet som kommer från den egna sprängämnesproduktionen (LKAB. 2014).

Trots att kväve är den mest begränsande tillväxtfaktorn i boreala ekosystem (Vincent m.fl. 2013), kan kväveutlakning från t.ex. industriella processer medföra negativa bieffekter som övergödning, försurning eller storskalig effekt på sammansättning och förekomst av arter. Att kvävegödsla genom en planerad och väl anpassad distribuering, motsvarar däremot en produktionshöjande åtgärd (Olsson m.fl. 2006; Nohrstedt. 2001). Inom svenskt skogsbruk har kvävegödsling varit en viktig åtgärd ända sedan 1960-talet. För närvarande importeras dock den huvudsakliga mängden mineralkvävegödsel som används (Ahlgren m.fl. 2015).

Genom att koppla samman några av Sveriges största industrier kan ett bättre resursutnyttjande vara möjligt. I det här examensarbetet undersöks potentialen i att låta kväve, som redan framställts för industriellt syfte, gå tillbaka in i det biologiska kretsloppet för att ännu en gång göra nytta ur ett mänskligt perspektiv.

2. Bakgrund

2.1 LKAB

Luossavaara-Kiirunavara Aktiebolag (LKAB) är en statligt ägd mineralkoncern som producerar och levererar förädlade järnmalmprodukter till stora delar av världen. Huvudverksamheten består av världens två största underjordsgruvor för järnmalm, belägna i Kiruna och Malmberget, samt tre dagbrott i Svappavaaras närområde. Runt gruvbrytningen utgörs kringverksamhet av förädlingsverk, verkstäder, samt järnvägstransporter. LKAB arbetar även med forskning och utveckling i egna laboratorier samt tar fram ny teknik inom områden som borrar-system, bergarbeten och sprängmedel. Inom koncernen ryms totalt åtta dotterbolag varav Kimit AB är ett av dem. (LKAB 2015).

Som en stor aktör inom gruvindustrin bedriver LKAB en verksamhet som påverkar miljön och därför arbetar hela koncernen utifrån en miljö och energipolicy. Målet är en långsiktigt hållbar verksamhet och eftersträvas genom utvecklande av ny teknik samt ett aktivt arbete med miljö och energifrågor (LKAB 2015).

Det här examensarbetet kommer bland annat att utgå från en tidigare studie, som LKAB genomfört i sitt arbete med yttre miljö. Syftet med den studien var att utreda hur etablering av träd och grönytor kan minska spridningen av damm från det egna industriområdet. Inom studien fastslogs bland annat Contorta, Sälg, Rönn och Fjällbjörk som lämpliga trädslag för projektet samt att dessa arter efter plantering skulle komma att behöva gödslas för att leverera maximal nyttoeffekt (Lindh. 2014). Med ledning av detta har vissa arter i det här försöket valts ut för att kunna kombinera olika miljöprojekt på LKABs egna industriområde.

För att slippa köpa in gödsel och som ett led i att recirkulera restprodukter, undviker man möjligtvis eutrofierande utsläpp genom att låta kväve i spillvatten bindas in i biologiskt material på det egna industriområdet. LKAB är nu intresserade av vilka möjligheter som finns, för att ta tillvara på potentialen i tillgängliga resurser. Kvävet i sprängämnesfabriken Kimit vatten är ett sådant exempel.

2.2 LKAB Kimit AB

LKAB Kimit AB tillverkar sprängämnen som i huvudsak tillgodoser koncernens egna behov men som även till viss del levereras externt. Verksamheten är förlagd till LKABs industriområde i Kiruna där bolaget har varit aktivt sedan 1975. I och med en större efterfrågan, då LKAB utökar sin gruvverksamhet, sker den nuvarande sprängämnesproduktionen i enlighet med ett nytt tillstånd som beviljats av Länsstyrelsen i september 2014. Beslutet omfattar en produktionsvolym på 60 000 ton bulksprängämnen samt 5000 ton patronerade sprängämnen per år. Detta är att jämföra med tidigare tillstånds övre gräns på 30 000 ton bulksprängämnen och 5000 ton patronerade sprängämnen (LKAB. 2014).

Tillverkningen av sprängämnen vid LKAB Kimits lokaler (se bilaga 1 – Karta över Kimits industriområde) påbörjas i den så kallade Ammonium/Nitrat-stationen (AN-stationen) genom att en oxidationslösning av ammonium och natriumnitrat bereds. Detta sker under höga temperaturförhållanden för att salterna inte ska kristallisera och det värmereglerande kylelementet består av relativt stora mängder vatten som cirkulerar i ett ledningssystem runt lösningen. Föreningar av oorganiska nitrater utgör proportionsmässigt den största delen av sprängämnet (se figur 1.) och bildar också grunden till de olika sprängämnesprodukter som Kimit framställer. Oxidationslösningen pumpas i nästa steg vidare till själva fabriken där den blandas med mineralolja och ett emulgeringsmedel som binder ihop vattenlösningen med olja. Kimit tillverkar 3 olika bulkprodukter som efter lagring i silo på det egna industriområdet fraktas till kund med specialbyggda tankbilar. Förutom bulkprodukterna tillverkas paketerade produkter som är patronerade.

Från väster: Ammoniumnitrat, natriumnitrat, vatten (H₂O), mineralolja och emulgeringsmedel.



Det vatten som används i Kimits produktion är vid ankomst till industriområdet klassat som dricksdugligt, och inkommer från Kiruna Vattenreningsverk. Efter processerna som vattnet genomgår härrör den största delen av det kväverika spillvattnet från själva fabriken. Detta beror främst på ett oavsiktligt spill vid produktionen då sprängämnesprodukter hamnar i vatten när till exempel utrustningen rengörs eller då de paketerade produkterna avkyls i en kylbassäng. I kontakt med vatten lakas kväveformerna ammonium (NH_4^+) och nitrat (NO_3^-) ut vilket resulterar i höga kvävenivåer hos de i snitt 35m^3 vatten som lämnar fabriken via avloppsbrunnar på 30 dygn. I AN-stationen används en varierande mängd kylvatten, som sällan kommer i kontakt med själva produkten och därmed har en spädande effekt på kvävekoncentrationen i det totala utgående spillvattnet. Hittills har mätningar av kylvattenflödet visat på uppemot $1500\text{m}^3/30$ dygn. Spillvatten från samtliga lokaler lämnar tillsammans Kimits industriområde och pumpas vidare via LKABs utgående avloppsnät.

Alla avlopp på Kimits industriområde är i dagsläget anslutna till totalt fyra oljeavskiljare. För det utgående spillvattnet finns även en mätstation installerad där kontinuerlig uppföljning av vattnets flöde och innehåll sker via automatisk provtagning. (LKAB, 2014)

2.2.2 Kimits tillstånd samt villkor för utökad produktion

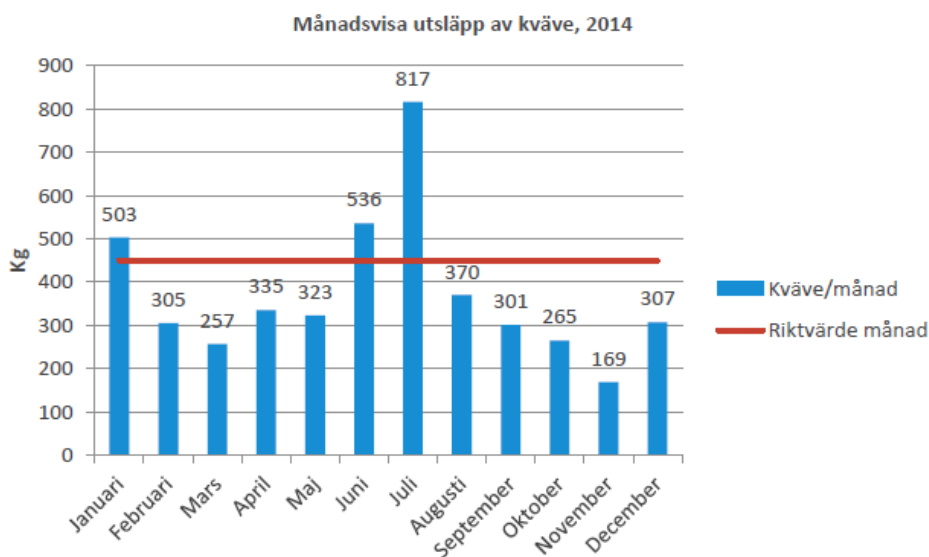
I och med det nya produktionstillståndet som trädde i kraft i september 2014 erhöll Kimit tillstånd till en maximal produktion på 60 000 ton bulksprängämnen samt 5000 ton patronerade sprängämnen per år. I tillståndet anges 450 kg som den mängd kväve som får återbördas kommunens spillvattennät per månad samt en total kvävemängd på 11 ton som maximalt får släppas ut till spillvattennätet per år.

Inom ramen för tillståndet ålades Kimit även att uppfylla vissa utredningsvillkor, varav ett innefattar att undersöka möjliga tillvägagångssätt för att minska utsläppen av kväve till det vatten som lämnar industriområdet. Det här examensarbetet utgör en del av villkoret och fokuserar specifikt på att undersöka om gödsling kan vara ett potentiellt avsättningsområde för kvävet i Kimitfabrikens spillvatten.

I och med det nya tillståndet bygger man i dagsläget (september 2015) om på Kimits industriområde. Den befintliga AN-stationen kommer att ersättas av en beredningsstation där oxidationslösningen inom kort ska framställas. I dagsläget finns ännu inget beslut angående huruvida man i fortsättningen ska använda vatten som kylelement eller om en kylanläggning ska installeras. För potentiellt råvaruutnyttjande i gödselsammanhang är det dock specifikt spillvatten från sprängämnesfabriken som är av största intresse.

2.2.3 Medelvärden för Kimits spillvatten 2014

Under 2014 har totalt 5640 m³ vatten lämnat Kimits industriområde och med vattnet har 4485 kg kväve avbördats till det kommunala avloppsledningsnätet.



Figur 2. Månadsvisa utsläpp av kväve i relation till ett riktvärde på 450 kg kväve/månad (LKAB, 2014).

Förutom kväve återfinns vissa spårämnen i Kimits spillvatten (Tabell 1).

Tabell 1. Spårämnen i Kimits spillvatten under 2014. Värden i tabellen representerar ett medel som baseras på tre mätningar under 2014. Variation kan förekomma från år till år.

Ämne	Koncentration (ug/l) 2014	Mängd (g/år) 2014
Arsenik	0.12	0.67
Kadmium	0.03	0.15
Krom	0.21	1.21
Koppar	6.3	35.8
Kvicksilver	<0.002	<0.011
Nickel	2.2	12.4
Bly	0.17	0.94
Zink	160	902

2.3 Växtbiologi

2.3.1 Generellt

Utöver vatten, ljus och ett substrat till rotförankring, behöver plantor en hel del kemiska substanser för att växa och upprätthålla sin metabolism (Smith m.fl. 2010, Raven m.fl. 1999, McCauly m.fl. 2009). ”Växtnäring som begrepp involverar upptaget från omgivningen av alla de råmaterial som är nödvändiga för essentiella biokemiska processer, distribueringen av dessa material inuti växten samt deras roll i metabolism och vid tillväxt” (Raven m.fl. 1999). Den miljö en planta växer i reflekteras oundvikligen i dess vävnad. Vissa ämnen återfinns som ett resultat av oavsiktligt upptag medan andra element spelar en större roll och påverkar hur en planta fungerar eller ser ut. En kombination av växters genetiska material och omgivande förutsättningar är därför grunden till hur deras livscykel slutligen faller ut.

2.3.2 Mikro- och makronäringsämnen

Sedan tidigt 1800-tal och ända fram till ca 1950 har man utifrån i huvudsak två kriterier forskat på vilka ämnen som är nödvändiga för plantors normala tillväxt och funktion. Det första kriteriet behandlar huruvida ämnet krävs för att växten ska kunna slutföra sin livscykel. Det andra kriteriet behandlar om ämnet som studeras är del i någon molekyl, som i sig är nödvändig för växtens direkta överlevnad. Utöver dessa två huvudkriterier utgår även vissa forskare ifrån om frånvaro av ett ämne leder till att växten som studeras uppvisar några bristsymptom eller inte. Olika arter har dock olika behov gällande hur kompositionen av de essentiella ämnena ser ut, och detta leder till att de i samma miljö kommer att kunna nyttja specifika faktorer i sin omgivning i varierande utsträckning.

Totalt har man hittills lyckats identifiera 16 ämnen (se tabell 2) som klassats som nödvändiga med avseende på funktion inuti de flesta vaskulära växtarterna (Raven m.fl. 1999). Beroende på i vilken mängd ett ämne behövs har de 16 essentiella elementen delats in i Makro- och Mikronäringsämnen. Makronäringsämnen är de som krävs i koncentrationer om 1000mg/kg

torrsubstans eller mer och mikronäringsämnen är de som krävs i mängder om mindre än 100mg/kg torrsubstans. I tabell 2 återges mikro- och makronäringsämnen, deras kemiska symbol samt i vilken form dessa ämnen är tillgängliga för växter. I tabellen anges även den koncentration i mg som funnits lämplig per kg torrsubstans samt procentuellt i vaskulära växters biomassa. (Raven m.fl. 1999).

Tabell 2. Mikro- och makronäringsämnen som är nödvändiga för plantors normala tillväxt och funktion, efter (Raven m . fl. 1999).

MAKRONÄRINGSÄMNEN	Kemisk Symbol	Växttillgänglig form	Lämpl. konc i TS (mg/kg)	(%)
Sulfat	S	SO ₄ ²⁻	1000	0,1
Fosfor	P	H ₂ PO ₄ , HPO ₄ ⁻	2000	0,2
Magnesium	Mg	Mg ²⁺	2000	0,2
Kalcium	Ca	Ca ²⁺	5000	0,5
Kalium	K	K ⁺	10 000	1
Kväve	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	15 000	1,5
Syre	O	O ₂ , H ₂ O, CO ₂	450 000	45
Kol	Ca	CO ₂	450 000	45
Väte	H	H ₂ O	60 000	6
MIKRONÄRINGSÄMNEN				
Molybden	Mo	MoO ₄ ²⁻	0	0,00001
Nickel	Ni	Ni ²⁺	?	
Koppar	Cu	Cu ⁺ , Cu ²⁺	6	0,0006
Zink	Zn	Zn ²⁺	20	0,002
Mangan	Mn	Mn ²⁺	50	0,005
Bor	B	H ₃ BO ₃	20	0,002
Järn	Fe	Fe ³⁺ , Fe ²⁺	100	0,01
Klor	Cl	Cl ⁻	100	0,01

2.3.3 Spårämnen

Spårämnen är kemiska grundämnen som är nödvändiga för livsfunktioner i vaskulära växter (Raven m.fl. 1999) och som återfinns naturligt i de flesta vatten om än i låga koncentrationer. Höga halter av spårämnen är ofta ett resultat av mänsklig aktivitet och vissa av ämnena kan i för hög dos bli toxiska för växter. I tabellen nedan återges den rekommenderade maxdosen av spårämnen i vatten som används i odlingssyfte (Ayers och Westcot 1976).

Tabell 3. Rekommenderad maxkoncentration av spårämnen i vatten som används vid odling (mg/l) (Ayers och Westcot 1976).

SPÅRÄMNE	Rekommenderad max koncentration (mg/l)
Al (aluminium)	5.0
As (arsenik)	0.10
Be (beryllium)	0.10
Cd (kadmium)	0.01
Co (kobolt)	0.05
Cr (krom)	0.10
Cu (koppar)	0.20
F (fluor)	1.0
Fe (järn)	5.0
Li (litium)	2.5
Mn (mangan)	0.20
Mo (molybden)	0.01
Ni (nickel)	0.20
Pb (bly)	5.0
Se (selen)	0.02
V (vanadium)	0.1
Zn (zink)	2.0

2.3.4 Kväve

Kväve är tillsammans med syre, kol och väte ett av de vanligaste elementen i levande organismer (Tamm. 1991). Det är en nödvändig beståndsdel i proteiner och nukleinsyror, samt näst efter sol och vatten den mest begränsande faktorn för tillväxt hos de flesta vaskulära växter på jorden (Raven m.fl. 1999; Srivastava and Singh. 1999; Smil. 1999; Vance. 2000). Växter kan tillgodgöra sig kväve antingen genom jorden och rotupptag eller via atmosfären genom symbiotisk kvävefixering (Raven m.fl. 1999). Ökad kvävetillgång är starkt kopplat till ökad tillväxt (Jarvis m.fl. 2000; Strengbom m.fl. 2001) och på grund av detta har kvävegödsel kommit att få en betydande roll i att tillgodose produktionen av bland annat jordbruks- och skogsråvaror (Johansson m.fl. 2013 Smith m.fl. 2010). I växter är kväve även en viktig komponent vid tillverkning av aminosyror, klorofyll och enzymer (Raven m.fl.1999). Kväve är växttillgängligt bland annat i form av ammonium (NH_4^+) och som nitrat (NO_3^-) men också i organisk form så som aminosyror (Näsholm m. fl. 2009). För ändamålet med denna studie ligger fokus endast på de oorganiska kväveformerna, ammonium och nitrat. Ammonium har ett högt energivärde och kan användas direkt av växten för att producera aminosyror men kan i för höga doser bli toxiskt och måste därför omvandlas innan det kan lagras om det förekommer i överflöd. Nitrat kan däremot lagras i stor utsträckning inuti växtvävnaden och kan också translokteras mellan olika sorters vävnad utan att göra skada. Dock måste nitrat reduceras innan det kan ingå i produktionen av ovan nämnda komponenter (Smith m.fl. 2010; Taiz & Zeiger 2010).

2.3.5 Kvävegödsling i Sveriges skogar

Sveriges totala landareal uppgår till 40,7 miljoner hektar och av dessa räknas 23,2 miljoner som produktiv skogsmark (Riksskogstaxeringen 2014).

Skogsstyrelsen är den myndighet som i Sverige ansvarar för att rådande skogspolitik implementeras. Det är också skogsstyrelsen som baserat på tillgänglig information och forskning, drar upp råd och riktlinjer för hur, bland annat skogsgödsling, bäst ska utföras. Utifrån rådande riktlinjer delas Sveriges yta upp på fyra gödslingszoner, inom vilka en angiven mängd kvävegödsel per hektar och omloppstid inte bör överskridas (SKSFS. 2007).

Riktlinjerna är tänkta att styra gödslingen så att skador begränsas eller förhindras. Man avser här till exempel kväveutlakning, försurning av mark och att känsliga arter påverkas negativt mm. För att anpassa gödslingsåtgärder till platsspecifika förutsättningar har Skogsstyrelsen delat upp Sverige i 4 gödslingszoner vari olika rekommendationer ges. Om riktlinjerna följs minskar riskerna för att tidigare nämnda negativa bieffekter ska inträffa (SKSFS. 2007).



Gödslingszon	Gödselgiva
4	Maximalt 450 kg N/ha och skogsgeneration
3	Max 300 kg N/ha och skogsgeneration
2	Normalt ska kvävegödsling inte ske. Dock kan skogsgödsling ske med maximalt 150 kg N/ ha och skogsgeneration i granbestånd om GROT uttag har skett eller planeras ske i samband med föryngringsavverkning
1	Ingen skogsgödsling

Figur 3. Färgkodad karta över Sveriges indelning i fyra gödselzoner. Gödselgivan som rekommenderas anges i intilliggande tabell och kopplas till området på kartan genom angiven siffra. (Persson. 2009).

Inom ramen för skogsstyrelsens rådande riktlinjer finns det dock utrymme för mer skogsgödsling än vad som har implementerats sedan metoden togs i bruk. I Sverige har enligt en SLU-baserad undersökning, endast strax över 10 % av skogsmarken någon gång gödslats på ett så kallat "konventionellt sätt", vilket motsvarar 150 kg N/ha vid 1-3 tillfällen under en omloppstid (Näslund m.fl. 2013).

2.4 Syfte

Syftet med det här examensarbetet är att genom litteraturstudier och ett odlingsförsök, undersöka, analysera och diskutera LKAB Kimits processvatten med avseende på dess lämplighet och potential som råvara i kvävegödslingssammanhang.

Målet är att med examensarbetet kunna komma med rekommendationer för vidare användning av LKAB Kimits processvatten.

2.5 Frågeställningar

Examensarbetet kommer att behandla tre frågeställningar som följer:

1. Innehåller Kimits spillvatten halter av något ämne i sådan utsträckning att det faller utanför godkända riktlinjer för dricksvatten eller rekommendationer för bevattning av växter? (Denna frågeställning ämnar tydliggöra produktionsprocessens vattenpåverkan eftersom det inkommande vattnet är klassat som dricksdugligt, samt utesluta eventuell toxicitet och utreda befintliga ämnens eventuella påverkan på försöket).

2. Ger bevattning med Kimits spillvatten en tillväxteffekt som utifrån parametrarna torrsvikt, skott och rot längd & stamdiameter, kväveinnehåll samt förändras pH i jorden (före & efter) i jämförelse med:

- a) Bevattning med avjonat vatten?
- b) Bevattning med befintligt NPK-gödsel?

3. Vilken koncentration (Kimitvatten) ger, utifrån en koncentrationsstege, mest tillväxt med avseende på:

- Torrsvikt
- Skott och rot längd & stamdiameter
- Kväveinnehåll
- pH i jorden (före & efter)

2.6 Avgränsningar

Eftersom olika växtarter och trädslag reagerar olika på, samt har olika förmåga att nyttja förhöjda kvävehalter kommer avgränsningar att ske genom att den här studien främst riktar in sig på arter som genom tidigare undersökningar har visat sig vara av intresse för LKABs arbete med yttre miljö.

Antalet planter i odlingsförsöket begränsas till max 100-150 krukor varav 4-5 arter planteras i kvävefattigt substrat. 3-9 replikeringar utförs per art och behandling. Kontrollbehandling begränsas till ett befintligt NPK-gödselmedel (Weibulls Rika S) samt avjonat vatten.

3. Material och Metod

3.1 Studiens upplägg

Inför genomförandet av det här försöket delades arbetet upp i tre olika faser.

Fas 1 bestod i provtagning av spillvatten med tillhörande vattenanalys, inhämtande av laboratedata och förstudier. Arbetet med fas 1 utfördes till största del på LKABs och Kimits industriområde i Kiruna. LKABs egna samt till viss del externa laboratorier analyserade vattnet (3.2 Provtagning). Förstudierna genomfördes dels via LKABs intranät, men även i Umeå vid SLUs bibliotek, databaser och i Web of Science. I fas 2 ingick etablering av försöksplanter samt genomförande av spädningsberäkningar för, och utförande av, respektive behandling (3.4 Odlingsförsök). Arbetet utfördes vid SLU i Umeå samt i Wallenbergväxthuset på Umeå Universitets campus.

Under fas 3 bestod arbetet av datainsamling, analys och sammanställning, även här skedde den största delen av arbetet på SLU samt i Wallenbergväxthuset (Se 3.7 Datainsamling).

3.2 Provtagning

Provtagning av Kimits spillvatten genomfördes vid två punkter på industriområdet (Se bilaga 2 "Plankarta LKAB Kimit"). Det vatten som under längre tid har följts upp i form av tvåveckorsprover och som utgör underlag för Kimits miljörapport 2014, har uppmätts på det totala utgående flödet från Kimits verksamhetsområde. Den mätpunkten innefattar spillvatten från samtliga byggnader och anläggningar på området, vilka i dagsläget utgörs av AN-station, fabrik, verkstad, lagerutrymmen, kontor och laboratorium. Vattnet som inhämtades för gällande försök har dock inte skett vid den ordinarie mätstationen, utan istället vid den brunn som endast innehåller vatten från sprängämnesfabriken. Fabriken är i dagsläget den största källan från vilken kvävet i spillvattnen härstammar, och ansågs därför också vara av störst intresse för det här försöket.

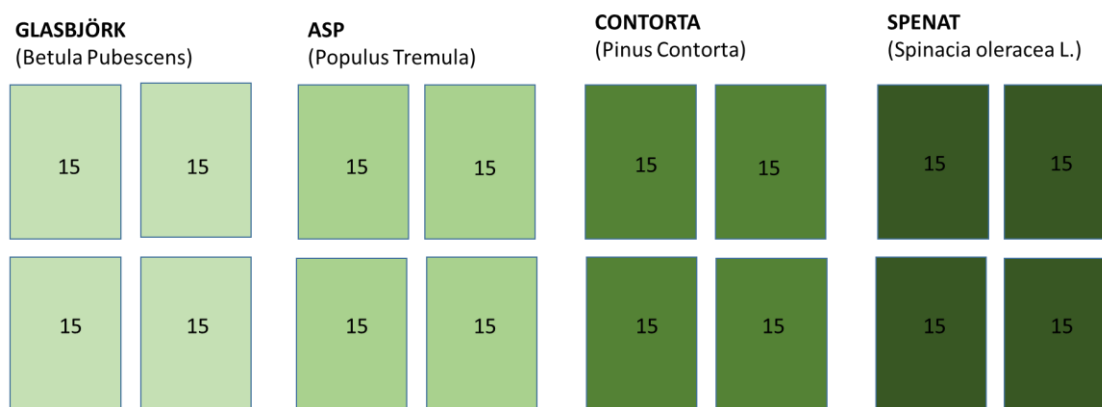
3.3 Vattenanalys

De parametrar som inkorporerats för vattenanalysen i det här försöket är utvalda för att kunna jämföras med livsmedelsverkets föreskrifter om högsta tillåtna halt av spårämnen i dricksvatten samt mot rekommenderade maxdoser av spårämnen i odlingsvatten. Analyserna genomfördes på vattnet som provtagits vid mätstationen och en sammanställning av inkluderade parametrar återfinns i bilaga 2.

Provsvaren som beskriver vattnets karaktär vid mätstationen, motsvarar den totala mängden ämnen som lämnar Kimits industriområde. I det här försöket har därför antagandet gjorts att den totala mängden vid samma mätperiod i brunnar inne på området, inte överstiger de totalvärden som redovisas vid mätstationen.

3.4 Odlingförsök

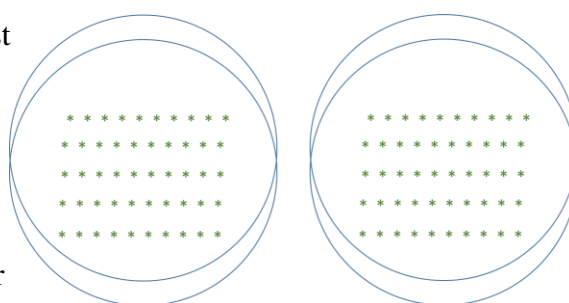
Odlingförsöket inleddes med att en blandning av ogödslad, kalkad torv och vermikulit (3:1), vägdes upp i 0.2 dm³ stora krukor, så att varje enhet innehöll substrat motsvarande 18.5 g. Totalt förbereddes 240 st krukor, och den totala åtgången av substrat var 4.4 kg. Vid försökets uppstart var pH i substratet 7.09 (pH_{H2O}). Krukorna placerades i grupper om 15 på odlingsbrickor varpå fyra brickor tillsammans kom att innehålla 60 krukor av varje art (Fig 5). Krukorna fuktades upp till substratets fältkapacitet och placerades, inför uppdrivning under odlingshuvar enligt uppställningen nedan. Hela odlingförsöket utfördes i Wallenbergväxthuset vid Umeå Universitet. Medeltemperaturen i växthuset ställdes till 20 grader Celsius. Ljushöjdhållandet var 18 timmar dag, 6 timmar natt och den relativa luftfuktigheten var mellan 50-70% under hela försöket.



Figur. 4 Försöksuppställning under uppdrivning.

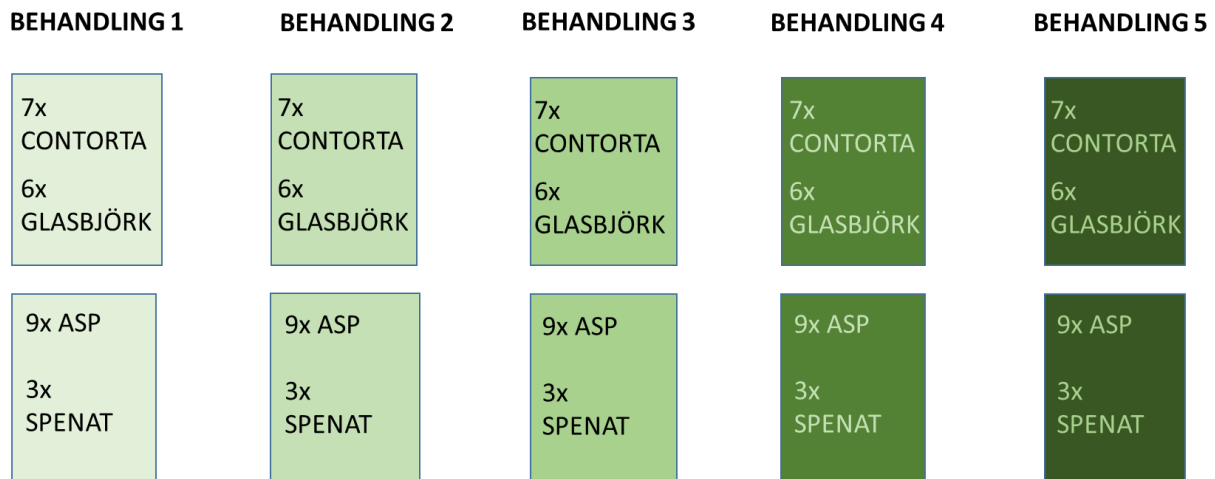
Contorta, glasbjörk och spenat såddes direkt i krukorna medan 200 aspfrön förgröddes i petriskålar (Figur 6). Efter 4 dagar på uppfuktat papper, fördes även 60 av asparna över till krukor, vilket skedde under stor försiktighet för att i minsta möjliga mån skada växtvävnad.

På odlingförsökets 20:e dag valdes de mest representativa individerna ut från respektive art. Efter sällning ansågs 35 contortaplantor, 30 glasbjörkar, 45 aspar, och 15 spenatplantor vara lämpliga att ingå i det fortsatta försöket. Dessa plantor fördelades på 5 behandlingar med olika näringslösningar så att antalet replikat per behandling för contorta, björk, asp och spenat var 7, 6, 9 och 3 för respektive art.



Figur 5: Förgroning av aspfrön i petriskålar.

I samband med att försöksplantorna behandlades med respektive näringslösning, flyttades också brickorna systematiskt runt på odlingsbordet för att samtliga växter skulle få likvärdig ljustillgång under försöksperioden.



Figur 6: Försöksuppställning under behandlingsperioden.

Tabell 4. Totala antalet plantor och replikat fördelat på art och behandling.

BEHANDLING	Mikro / Makro	CONTORTA	GLASBJÖRK	ASP	SPENAT	TOTALT
1. Avjonat vatten + Mikro & Makro	JA	7	6	9	3	25
2. Kimit 7mM N	NEJ	7	6	9	3	25
3. Kimit 3.5mM N + Mikro&Makro	JA	7	6	9	3	25
4. Kimit 7mM N + Mikro & Makro	JA	7	6	9	3	25
5. Rika S 7mM N	NEJ	7	6	9	3	25
Totalt:		35	30	45	15	125

3.5 Behandlingar

Behandlingarna för odlingsförsöket utformades som en tvåfaldig kvävestege för att möjliggöra en jämförelse av den eventuella tillväxteffekt som olika koncentrationer av Kimits spillvatten skulle ha på försöksplantorna. Behandlingarna utformades också för att undersöka Kimitvattnets effekt utan, respektive med tillsats av mikro- och makronäringsämnen. För att utreda om kvävesammansättningen i Kimits spillvatten, i rena tillväxtparametrar, kunde antas motsvara kvävekällan i ett befintligt kommersiellt gödselmedel, inkorporerades målreferensen Weibulls Rika S (Weibulls Horto AB, Hammenhög) som är en etablerad produkt på marknaden med N-P-K förhållandet 7- 1- 5. Nollreferensen (kontrollen) utgjordes i det här försöket av avjonat vatten plus en tillsats av mikro- och makronäringsämnen med syftet att representera tillväxt utan en kvävekälla. Nollreferensen utformades således även för ge underlag för vidare tolkning av den eventuella potential som finns inneboende i spillvattnet från Kimits sprängämnesfabrik.

Tabell 5. Information om behandling 1-5 med avseende på innehåll och ändamål.

FÖRKORTNING I TEXT	Mängd tot N (mg)	Mikro/ makro	INFORMATION
Avjonat vatten (B1)	0	JA	Behandling 1: (Avjonat vatten + Mikro- och Makronäringsämnen) Ämnad att utgöra nollreferens och ge en bild av hur försöksarterna tillväxer utan tillgång till kväve.
Kimit (B2)	19,6	NEJ	Behandling 2: (Kimit 7Mmol) Ämnad att visa hur Kimitvattnet isolerat från andra näringsämnen påverkar försöksplantornas tillväxt.
Kimit (B3)	9,8	JA	Behandling 3: (Kimit 3,5Mmol + Mikro- och Makronäringsämnen) Representerar den lägre kvävekoncentrationen av två.
Kimit (B4)	19,6	JA	Behandling 4: (Kimit 7Mmol + Mikro- och Makronäringsämnen) Den behandling som är mest jämförbar med målreferensen Rika S.
Rika S (B5)	19,6	NEJ	Behandling 5: (Rika S 7Mmol) Målreferens. Utan tillsats av mikro- och makronäringsämnen då dessa redan finns inkorporerade i produkten.

Eftersom kväve är den råvara som främst utreds i det är försöket späddes alla lösningar med avseende på kvävekoncentration. Andelen ammonium och nitrat i Rika S, respektive i Kimit's spillvatten beräknades vid en totalkvävekoncentration på 7mmol/L och ration visade sig vara förskjuten mot nitrat i Rika S medan förhållandet i Kimit's spillvatten, i lika stor grad var förskjutet mot ammonium (Tabell 6.).

Tabell 6. Förhållandet mellan ammonium och nitrat i Rika S samt Kimit's spillvatten vid 7mmol/L totalkvävekoncentration.

Totalkväve = 7mmol	Rika S	Kimit
	g/l	g/l
Nitrat	0.064	0.034
Ammonium	0.034	0.064
Summa Ammonium + Nitrat	0.098	0.098
Andel nitrat	0.65	0.35
Andel ammonium	0.35	0.65
% Nitrat	65%	35%
% Ammonium	35%	65%

5 olika näringslösningar bereddes färskt inför varje behandlingstillfälle (Tabell 7). För att undvika utfällning av salter vid beredning av behandlingarna, pipetterades de olika näringslösningarna ner i halva volymen avjonat vatten och späddes sedan till den önskade totalvolymen. pH i samtliga lösningar ställdes till 5.8 med hjälp av kaliumhydroxid (KOH) och saltsyra (HCl). Varje försöksplanta fick 20 ml av tillhörande behandlingslösning med ett 50 ml koniskt Falconrör modifierat så att det maximalt kunde hålla 20 ml och användes därefter för att portionera en exakt giva. Behandlingarna utfördes 2 gånger per vecka under sammanlagt 5 veckor efter uppdrivning. Vilket resulterade i att varje planta som fått 7 mmol/L totalkväve fått 19,6 mg N totalt under försöket.

Tabell 7. Recept för beredning av 600ml lösning av respektive behandling.

BEHANDLING	Volym (liter)	Konc lösning (liter)	Avjonat vatten (liter)	MAKRO 1 (liter)	MAKRO 2 (liter)	MAKRO 3 (liter)	MIKRO (liter)	Total volym (liter)
1	0,6	0	0,5972	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,6000
2	0,6	0,0221	0,5779	0	0	0	0	0,6000
3	0,6	0,0111	0,5861	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,6000
4	0,6	0,0221	0,5751	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,6000
5	0,6	0,0007	0,5993	0	0	0	0	0,6000

3.5.1 Standardlösning av mikro- och makronäringsämnen

För göra Kimitfabrikens vatten jämförbart med målreferensen Rika S då odlingssubstratet var i princip näringsfritt (ogödslad kalkad torv) och Kimitvattnet framförallt innehåller kväve, tillsattes samma mängd av mikro- och makronäringsämnen till alla behandlingar utom den där endast Kimitvattnet tillsattes (se tabell 4.) Den förutbestämda givan utformades för att motsvara mikro- och makronäringsstammen som återfanns i Rika S (Tabell 8.) spädd till en kvävekoncentration av 7 mmol/l (0,098 g/l), samt portionerades ut i respektive behandling.

För att undvika att salterna bildade komplex eller utfällningar i kontakt med varandra, förbereddes näringslösningarna i 4 olika behållare och späddes med avjonat vatten till en totalvolym på 100 ml. För makronäringsämnen blandades sulfaterna för sig (MAKRO 1), fosfater för sig (MAKRO 2) och järn för sig (MAKRO 3). Samtliga mikronäringsämnen blandades tillsammans (MIKRO) då det rörde sig om en mindre mängd salter och därför förelåg också sannolikt en mindre risk att oönskade reaktioner skulle ske under givna förhållanden. De fyra flaskornas innehåll användes i enlighet med receptet i Tabell 7, som ingredienser vid framställningen av behandlingarna som respektive försöksgrupp skulle motta.

Tabell 8. Koncentrationen av de salter som ingick i slutnärlösningen för att representera mikro och makronärlingsämnen.

Lösning	Salt	M (g/mol)	g/l i slutlösningen	mol/l i slutlösningen
MAKRO 1	KH ₂ PO ₄	136.09	8.7	0.64
MAKRO 1	K ₂ HPO ₄	174.18	56.3	3.23
MAKRO 2	K ₂ SO ₄	174.27	63	3.62
MAKRO 2	MgSO ₄ · 7 H ₂ O	246.48	71	2.88
MAKRO 3	CH ₂ N(CH ₂ COO) ₂ FeN	367.05	5.5	0.15
MIKRO	H ₃ BO ₃	61.83	0.7	0.11
MIKRO	MnSO ₄ · H ₂ O	169.02	1.5	0.09
MIKRO	ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	287.54	0.6	0.02
MIKRO	CuSO ₄ · 5 H ₂ O	249.68	0.08	0.003
MIKRO	Na ₂ MoO ₄ · 2 H ₂ O	241.96	0.05	0.002

3.6 Försöksarter

De arter som användes i försöket valdes utifrån kriteriet att de kan knytas till, eller på annat sätt representera LKABs projekt med yttre miljö, att de ansågs svara bra på kvävetillförsel, samt att de skulle ha förutsättning att här betraktas som representativa för antingen skogs- eller jordbruksindustrin. Utöver dessa kriterier var det viktigt att de arter som kom att ingå i den här studien förutsågs ge relativt snabb tillväxt- och gödslingsrespons, då odlingsförsöket utfördes inom begränsad en tidsram på 2 månader.

3.6.1 Glasbjörk (*Betula Pseudens*)

Glasbjörken representerar i det här försöket fjällbjörk som har varit av intresse för LKABs miljöprojekt där man avser minska damning från sina industriområden genom att etablera träd (Lindahl 2015). Eftersom fjällbjörk är en underart till glasbjörk och naturligt förekommande på de nordliga breddgrader, som är av intresse för LKAB, tillåts här glasbjörk, i egenskap av att arten är vanligt förekommande, representera fjällbjörken samt till viss mån också landets övriga lövträds respons på kvävegödsling. Tack vare sin hårdighet var björk det första lövträdet som vandrade in i Sverige efter istiden. Arten förekommer i Sverige främst på fuktigare marker (Larsson 2004).

De frön som användes för det här försöket insamlades i Sävar (Västerbottens län) år 2012 av Skogforsk, Umeå och grobarheten var 85 %.

3.6.2 Asp (*Populus Tremula*)

Asp är ett snabbväxande, naturligt förekommande trädslag i Sverige, som i likhet med björken tål låga temperaturer mycket bra. Som en följd av detta är aspen förekommande i hela Norrbottens län ända upp till fjällregionen (Larsson 2004). Asp är ett av de trädslag som anses vara mest intressant för produktion av energiskog eftersom arten håller en hög produktionstakt som kulminerar vid så tidig ålder som 20 år. Vid ett helträdsutnyttjande, som uttag av

vedbiomassa kan innebära, är kvävegödsling i kombination med till exempel askåterföring en nödvändig kompensation för den näringsförlust man åsamkar marken (Rytter 2004).

I det här försöket ingår asp dels för att representera svensk lövskog men också energiskogssektorn och således den potentiella avsättning man kan finna för Kimit's kväve här. De frön som användes för det här försöket insamlades av Marie-Charlotte Nilsson-Hegethorn på Västerslätt i Umeå (Västerbottens län) år 2015 och grobarheten var mycket hög.

3.6.3 Contorta (*Pinus Contorta*)

Contorta representerar precis som björk, ett trädslag som ingår i LKABs projekt för att minska damning (Lindahl 2015), men är även ett viktigt skogsbruksträd som här kan representera barrskogssektorn. Contortan som art härstammar från Nordamerika men har introducerats till Sverige på 60-talet och ingår nu i landets skogsproduktion på många håll (Riksskogstaxeringen), mycket tack vare sin förmåga att producera upp emot 40% mer än vanlig tall (*Pinus Sylvestris*) (Larsson 2004 och Edlund 2011). Contortan svarar som regel bra på kvävegödsling vilket gör den lämplig för det här försöket. Den contorta som användes i detta försök var av sorten FP 70#B Stavreviken (Klängnummer: 14H007) med 98% grobarhet och kommer från Skogforsk, Umeå.

3.6.4 Spenat (*Spinacia oleracea* L.)

Spenat är en ätbar gröda som ingår i försöket dels eftersom arten är känd för att svara bra på kväve, men också för att representera jordbrukssektorn och ätbara grödor. Fröerna köptes på Plantagen i oktober 2015. Grobarheten estimerades till 75%

3.7 Datainsamling

Plantorna skördades efter totalt 8 veckor i växthus varav behandling utförts under 5 av dessa. För att separera rotdeklar från odlingssubstratet användes en handdusch. Samtliga plantor torkades under några minuter på hushållspapper innan skottets och rotdeklars längd uppmättes. I samband med att varje planta skördades togs även ett jordprov från varje individ, och poolades för bestämning av substratets pH per art och behandling.

Efter skörd torkades samtliga försöksplantor i 65 grader Celsius under 4 dygn. Torrvikten för varje individs rot och skott vägdes och registrerades innan ett randomiserat urval av individer från behandling 4 och 5 (Kimit 7Mmol + Mikro & Makro samt Rika S 7Mmol) maldes i kulkvarn samt vägdes in i tennkapslar för analys av kol och kväve.

Före och efter försöksperioden utfördes en bestämning av pH i odlingssubstratet genom att 5ml substrat och 25ml avjonat vatten tillsattes ett Falconrör. Suspensionen skakades vid varje mättillfälle i skakmaskin under 5 minuter för att sedan vila i ca 2h. Lösningen skakades ytterligare precis innan pH uppmättes direkt i Falconröret.

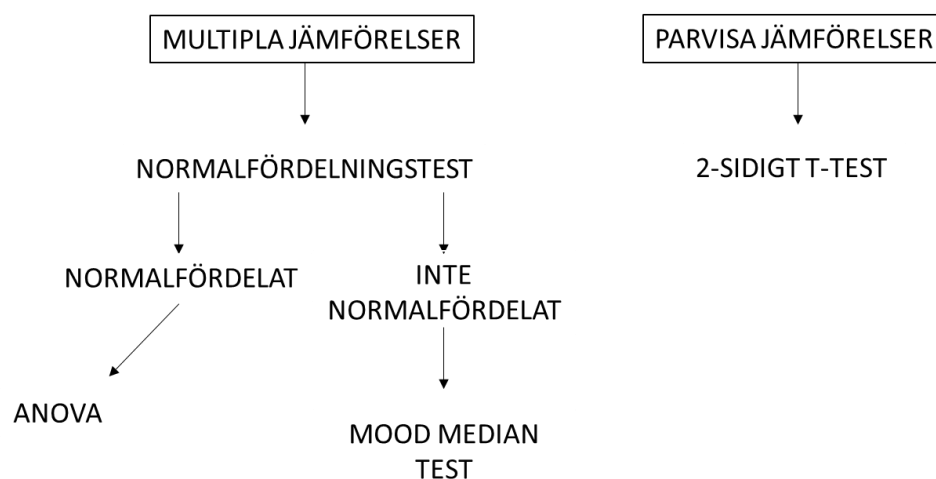
3.8 Dataanalys

All datanalys genomfördes i statistikprogrammet MiniTab 17 (Minitab Inc., State College, PA, USA). För att fastställa om resultaten för alla parametrar och behandlingar var normalfördelade utfördes i ett första steg normalitetstester för samtliga dataset.

De material som var normalfördelade analyseras med envägs ANOVA-analyser (Analysis of Variance) för att fastslå om medelvärdet av dataseten för tillväxtparametrarna skiljde sig åt mellan de 5 behandlingarna. Härigenom testades noll hypotesen H_0 = "Alla medelvärden för de olika behandlingarna är lika", samt alternativ hypotesen H_A = "Medelvärdet för minst en av behandlingarna skiljer sig från de andra". Lika varianser antogs och informationen grupperades genom Post Hoc-tester med Tukey's metod samt ett 95 % konfidensintervall. Signifikansnivån sattes till 0.05.

I de tillväxtparametrar där resultatet innehöll dataset som inte var normalfördelade, utfördes Mood's median test för att fastslå om medianen av två eller flera grupper skiljde sig från varandra. Signifikansnivån sattes till 0.05

Eftersom analyserna av kol och kväve endast utfördes på två av behandlingarna: behandling 4 (Kimit 7Mmol + Mikro & Makronäringsämnen) samt behandling 5 (Rika S 7Mmol) användes ett 2-sidigt t-test för att se om medelvärdena för de båda behandlingarna signifikant skiljde sig åt. Signifikansnivån sattes till 0.05.



Figur 7. Flödesschema statistisk analys.

4. Resultat

4.1 Vattenanalys

Under september månad innehöll Kimit's spillvatten inga halter av spårämnen, förutom kväve, i sådan utsträckning att det översteg godkända riktlinjer för dricksvatten enligt Livsmedelsverket (LIVSFS 2003:45) (se tabell 7). Det innehöll utöver det inte heller något spårämne i sådan utsträckning att rekommenderade maxdoser av spårämnen i odlingsvatten överskreds (Ayers och Westcot 1976).

Analysen baseras på tre provtagningstillfällen under september 2015 och redovisas i tabellerna nedan som ett medelvärde av dessa. Analysen utfördes på Kimitvattnet i outspädd form.

Tabell 9. Koncentrationer av spårämnen och nitrat i Kimit's vatten i jämförelse med Livsmedelsverkets gränsvärden för högsta tillåtna halt av spårämnen i dricksvatten (mg/l) samt jämfört med rekommenderade maxdoser av spårämnen i odlingsvatten (mg/l). Medelvärden representerar tre provtagningstillfällen.

Spårämne	Kemisk benämning	Medelvärde Kimit (mg/l)	Gränsvärde dricksvatten (mg/l)
Nitrat	NO ₃ -N	266.67	50
Koppar	Cu	0.011	1
Barium	Ba	0.0533	1
Flourid	F	0.184	0.5
Mangan	Mn	0.173	0.5
Krom	Cr	0.000389	0.05
Nickel	Ni	0.004413	0.02
Bly	Pb	0.000238	0.01
Arsenik	As	0.000288	0.01
Kadmium	Cd	0.000035	0.003
		Medelvärde Kimit (mg/l)	Gränsvärden för bevattning (mg/l)
Aluminium	Al	0.020276	5
Krom	Cr	0.000389	0.1
Kobolt	Co	0.001343	0.05
Flour	F	0.184667	1
Järn	Fe	0.066	5
Molybden	Mo	0.00261	0.01
Vanadin	V	0.00292	0.1
Zink	Zn	0.415	2

4.2 Tillväxt

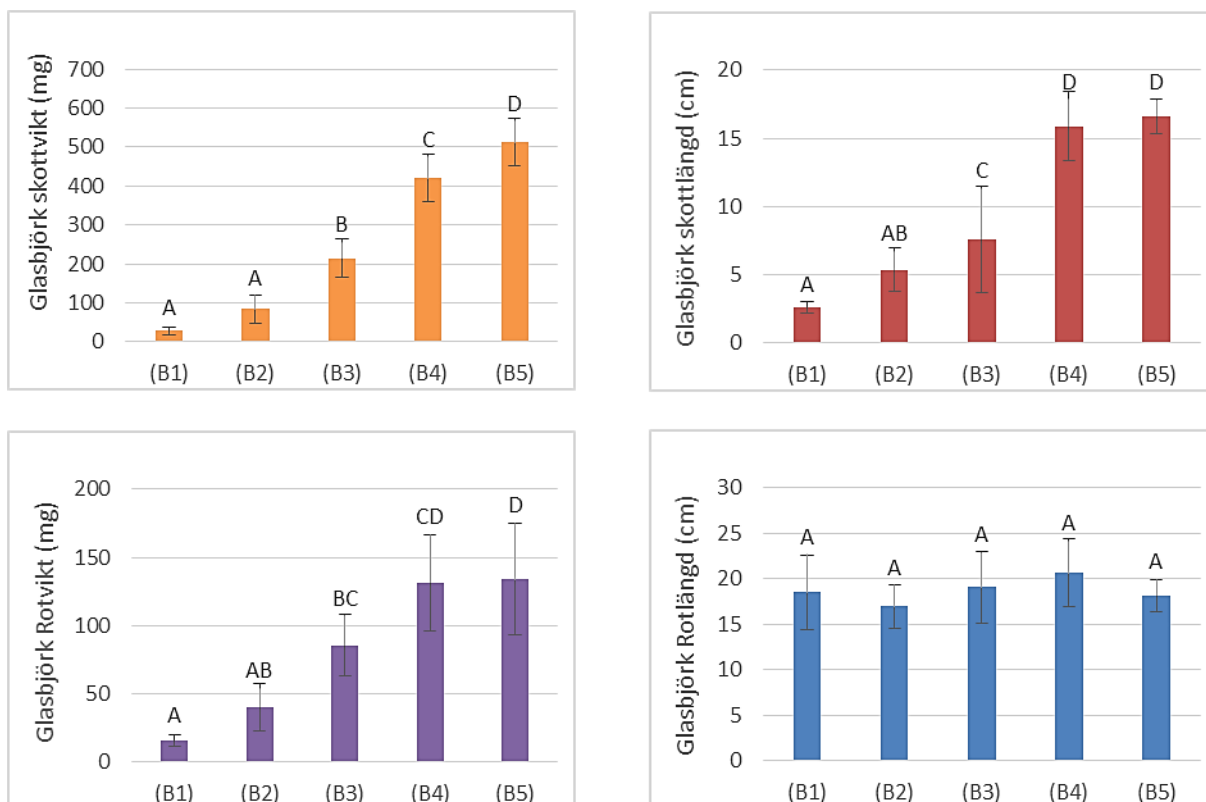
Samtliga försöksplanter har överlevde alla behandlingar under försökstiden och de har tillväxt i varierande grad. I redovisningen av tillväxtparametrar nedan, har fokus lagts på hur de behandlingar som innehåller Kimit's spillvatten förhåller sig i jämförelser med målreferensen Rika S 7 mmol (B5), med nollreferensen Avjonat vatten + Mikro- och Makronäringsämnen (B1) samt inbördes mellan de Kimitbaserade behandlingarna (B2), (B3) och (B4). Fullständiga resultat återfinns i bilaga 3 "Statistiska analyser".

4.2.1 Glasbjörk

Utifrån 4 av 5 tillväxtparametrar går det inte att statistiskt skilja glasbjörkens tillväxt vid behandling med Kimit (B4), från Rika S (B5). Vid jämförelse mellan B4 och B5 var skottvikt den enda parameter där skillnad förelåg genom att medelvärdet för glasbjörkens tillväxt var något högre för Rika S (B5) än för Kimit (B4). Alla tillväxtparametrar indikerade dock att Kimit (B4) tillväxte signifikant bättre än nollreferensen (B1) och Kimit (B2).

I Kimit (B2) där inga mikro- och makronäringsämnen tillsattes, förelåg ingen statistiskt signifikant skillnad i någon tillväxtparameter vid jämförelse med nollreferensen Avjonat (B1). Kimit (B2) samt Kimit (B3) var inte jämförbara med målreferensen Rika S (B5) utifrån någon tillväxtparameter. Kimit (B3) var heller inte statistiskt jämförbar med Kimit (B4) vad gäller glasbjörkens ovanjordsdelar.

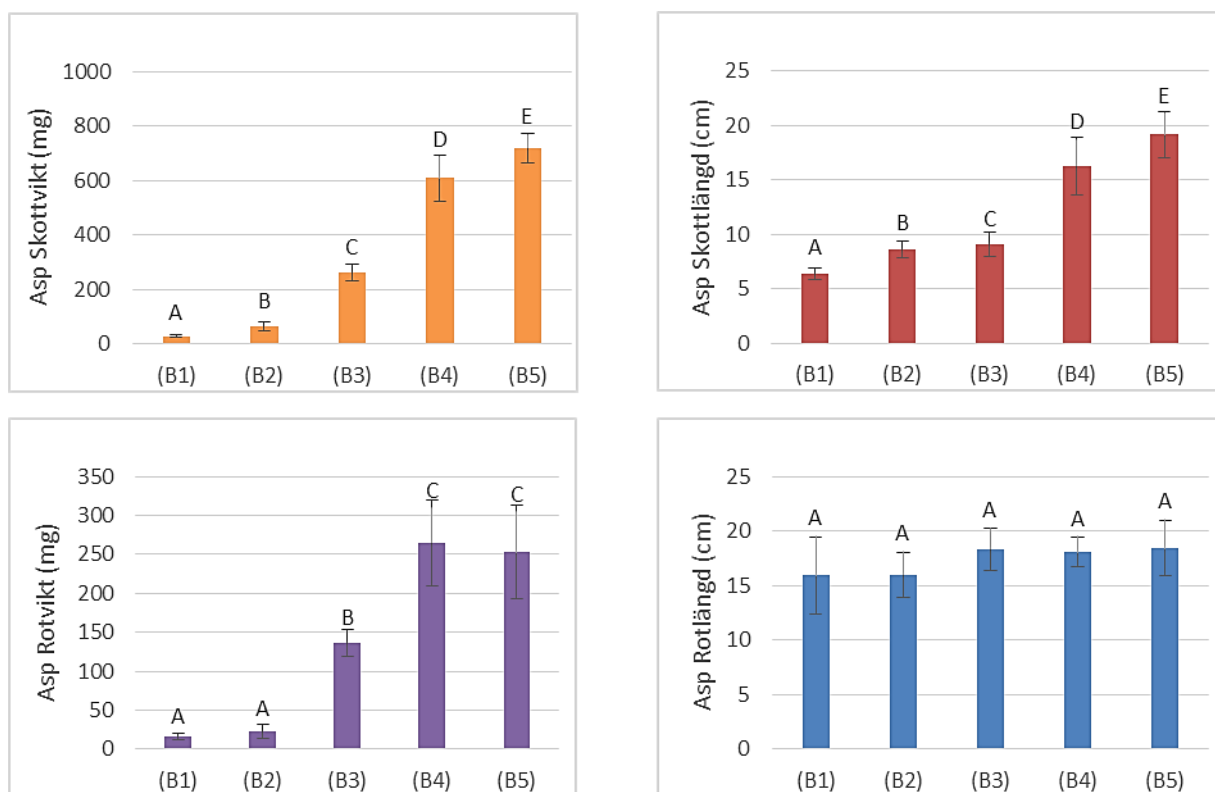
Figur 8. Tillväxtparametrar för glasbjörk redovisade utifrån medelvärden av 6 replikat per behandling. Felstaplar visar standardavvikelsen från medelvärdet. I den statistiska analysen testades om ett eller flera medelvärden skiljer sig från de andra. Olika bokstäver indikerar signifikant skillnad mellan behandlingar vid 95 % konfidensintervall.



4.2.2 Asp

För aspens så väl skottvikt, som skottlängd var samtliga behandlingar (B1-B5) statistiskt signifikant åtskiljbara från varandra. Medelvärdena för Kimit (B4) och Rika S (B5) var dock markant högre än för de övriga tre behandlingarna vad gäller skottparametrar. För rotvikter hos asp förelåg inte heller någon signifikant skillnad mellan Kimit (B4) och Rika S (B5). Medelvärdena för rotvikt i B4 och B5 var markant högre än motsvarande värden för framförallt avjonat vatten (B1) och Kimit (B2). Kimit (B3) hade rotvikter som motsvarade ungefär halva dem som uppnåddes med B4 och B5. Vad gäller parametern rotlängd skiljde sig denna inte signifikant åt för någon av behandlingarna.

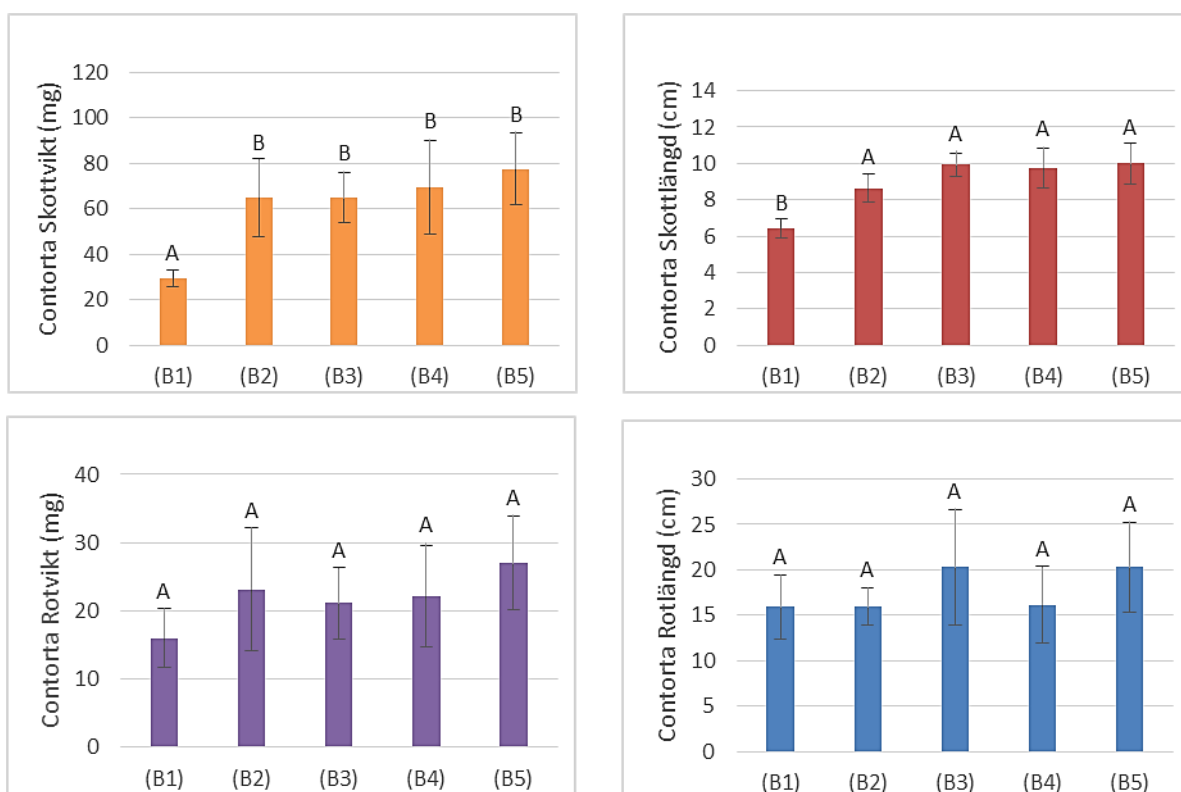
Figur 9. Tillväxtparametrar för asp redovisade utifrån medelvärden av 9 replikat per behandling. Felstaplar visar standardavvikelsen från medelvärdet. I den statistiska analysen testades om ett eller flera medelvärden skiljer sig från de andra. Olika bokstäver indikerar signifikant skillnad mellan behandlingar vid 95 % konfidensintervall



4.2.1 Contorta

För contortan gick det inte att signifikant skilja behandlingarna åt för någon tillväxtparameter förutom skottvikt där Avjonat vatten (B1) i storleksordning var markant mindre än de övriga behandlingarna (B2-B5).

Figur 10. Tillväxtparametrar för controrta redovisade utifrån medelvärden av 7 replikat per behandling (6 replikat i behandling 1). Felstaplar visar standardavvikelsen från medelvärdet. I den statistiska analysen testades om ett eller flera medelvärden skiljer sig från de andra. Olika bokstäver indikerar signifikant skillnad mellan behandlingar vid 95 % konfidensintervall.



4.2.2 Spenat

Inget resultat kunde erhållas från spenaten eftersom dagslängden på 18 timmar gjorde att den gick i blom väldigt tidigt. Detta innebär att den energi plantan skulle lagt på tillväxt istället investerades i blomning och därför blev resultatet av spenaten inte användbart.

4.2.3 Diameter för samtliga arter

För samtliga arter var det med avseende på diameter inte möjligt att statistiskt skilja Kimit (B4) från Rika S (B5). Kimit (B3) var för båda lövträden åtskiljbar från Kimit (B4) medan contortans diameter endast för avjonat vatten (B1) gick att skilja från de övriga behandlingarna. För asp och contorta genererade avjonat vatten (B1) statistiskt åtskiljbar diameter i jämförelse med alla övriga behandlingar medan glasbjörkens diameter skiljde sig från B3-B5 men inte i jämförelse med B2. För samtliga arter gick det heller inte att med statistisk säkerhet skilja Kimit (B2) från Kimit (B3).

Tabell 10. Diameter± Standardavvikelse för glasbjörk, asp och contorta. Lika bokstav indikerar att ingen statistiskt signifikant skillnad föreligger mellan resultaten.

Behandling	Diameter±Stdev (Glasbjörk)	Diameter±Stdev (Asp)	Diameter±Stdev (Contorta)
1	0.9±0.08 ^A	0,67±0,11 ^A	0,67±0,11 ^A
2	1.37±0.36 ^{AB}	1±0,08 ^B	1±0,08 ^B
3	1.8±0.28 ^B	1±0,08 ^B	1,98±0,19 ^B
4	2.85±0.21 ^C	1±0,05 ^C	2,93±0,53 ^B
5	3.27±0.41 ^C	1,01±0,06 ^C	3,1±0,17 ^B

4.3 Kol/kväveinnehåll

Det var ingen skillnad i N%, C% eller i C/N kvot i skottdelen mellan Kimit (B4) och Rika S (B5) för någon av parametrarna eller för någon av arterna (Tabell 10). Detta fastställdes utifrån ett 2-sidigt t-test genom parvisa jämförelser mellan medelvärdet av 3 replikat från behandling 4 och 5 för respektive art. Ett konfidensintervall på 95 % användes i den statistiska analysen.

Tabell 11. Jämförelse av behandling Kimit (B4) och Rika S (B5) med hjälp av ett 2-sidigt t-test, avseende på N%, C% samt C/N kvot i skottdelen av Glasbjörk, Asp och Contorta. Medelvärde ±Standard deviation, n=3. Olika bokstäver indikerar signifikant skillnad mellan behandlingar vid 95 % konfidensintervall.

Behandling	Art	N %	C /%	C/N ratio
4	Glasbjörk	2.04±0,29 ^A	49,21±0,34 ^B	24,56±3,11 ^C
5	Glasbjörk	2.51±0,44 ^A	49,68±1,25 ^B	20,38±3,42 ^C

4	Asp	1,50±0,22 ^A	46,22±0,93 ^B	31,58±4,97 ^C
5	Asp	1,92±0,11 ^A	46,67±0,26 ^B	24,37±1,22 ^C

4	Contorta	2,57±0,07 ^A	51,95±0,93 ^B	20,28±0,88 ^C
5	Contorta	2,72±0,17 ^A	51,63±0,07 ^B	19,0638±1,18 ^C

4.4 pH i odlingssubstratet (före och efter)

Innan växthusförsöket påbörjades uppmättes pH i odlingssubstratet till 7.09. Inför varje gödslingstillfälle ställdes pH till 5.8 i lösningarna (behandling 1-5) som plantorna vattnades med. Efter skörd mättes pH i ett poolat prov av substrat från samtliga individer per art, och behandling. Resultaten visar att pH i substratet efter samtliga behandlingar är lägre än vid försökets början men högre än det pH som ställts i lösningarna i 13 av 15 fall. Endast för aspen i behandling 4 samt för glasbjörken i behandling 1 sjönk pH till 5.8.

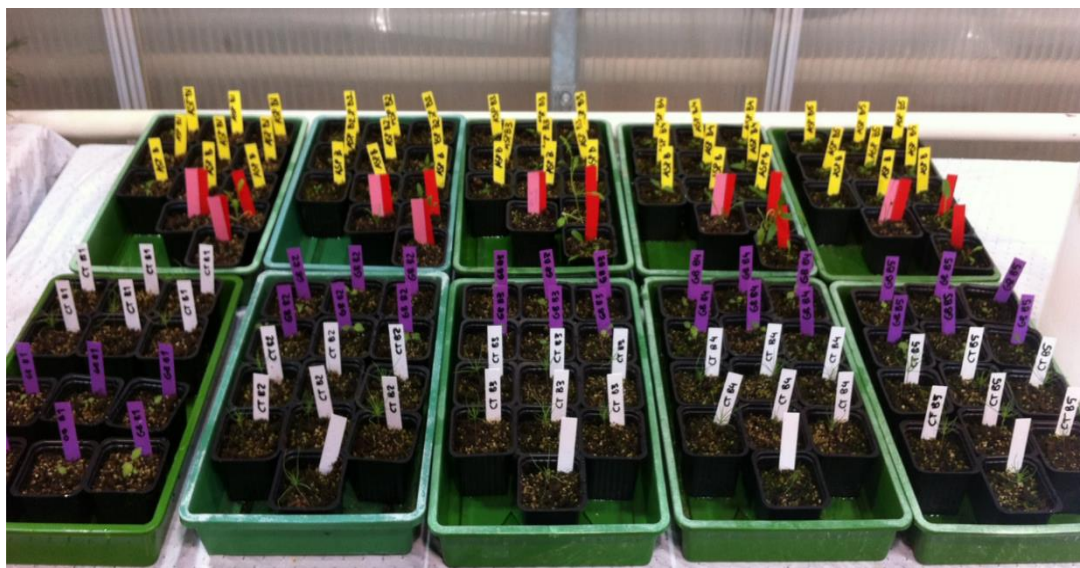
Tabell 12. pH i odlingssubstratet vid försökets början och slut fördelat på art och behandling.

Behandling	pH start	Contorta	Asp	Glasbjörk
B1	7.09	5.93	6.06	5.75
B2	7.09	6.11	6.24	6.27
B3	7.09	6.18	6.08	5.88
B4	7.09	5.98	5.77	6.07
B5	7.09	6.4	6.07	6.07

4.5 Växternas utseende

Under hela försöksperioden dokumenterades försöksplantornas utseende. En visuell skillnad i tillväxt gick att se mellan behandlingarna, framförallt under försökets senare del. Efter 3-4 veckors behandling var det svårt att med blotta ögat skilja Kimit (B4) från Rika S (B5) (Fig x).

Under behandlingsvecka 5 framträdde rödaktiga färgskiftningar hos försöksplantor av asp och glasbjörk i alla behandlingar (Fig 15). Det var dock väldigt få av de plantexemplar som fått Rika S (B5) som uppvisade dessa färgskiftande symptom. Contortaplantor i samtliga behandlingar bibehöll en grön färg genom hela försöket och var generellt svårare än lövträden att visuellt skilja åt beroende på behandling. Avjonat vatten (B1) var den behandling där asp och glasbjörk tydligast uppvisade en markant eftersatt tillväxt i de gröndelar som gick att se.



Figur 11. "Odlingsförsök v.0" Försöksplantornas utseende efter uppdrivning, innan den första givan av respektive behandling tillsattes. Identifikationstaggarna i olika färger anger vilken art som odlas i krukorna. Gul=Asp, Lila=Glasbjörk, Vit=Contorta och Röd/Rosa=Spenat. Uppställningen separerar olika behandlingar från varandra med brickornas position i sidled. Behandling 1 står i bilden längst till vänster och följs i kronologisk ordning av behandling 2-5.



Figur 12. "Odlingsförsök v.3" Försöksplantornas utseende efter 3v och totalt 6 behandlingstillfällen. Identifikationstaggar i olika färger anger vilken art som odlas i krukorna. Gul=Asp, Lila=Glasbjörk, Vit=Contorta och Röd/Rosa=Spenat. Uppställningen separerar olika behandlingar från varandra med brickornas position i sidled. Behandling 1 står i bilden längst till vänster och följs i kronologisk ordning av behandling 2-5.



Figur 13. "Odlingsförsök v.5" Försöksplantornas utseende efter 5v och totalt 10 behandlingstillfällen. Identifikationstaggar i olika färger anger vilken art som odlas i krukorna. Gul=Asp, Lila=Glasbjörk, Vit=Contorta och Röd/Rosa=Spenat. Uppställningen separerar olika behandlingar från varandra med brickornas position i sidled. Behandling 1 står i bilden längst till vänster och följs i kronologisk ordning av behandling 2-5.

5. Diskussion

I det här examensarbetet var syftet att utvärdera om kväverikt spillvatten från LKAB Kimits sprängämnesfabrik, kunde ha potential som råvara i ett gödselmedel. För att utreda potentialen anlades ett odlingsförsök i växthus där fokus lades på två huvudfaktorer:

1. Att identifiera eller utesluta eventuell toxicitet i Kimitvattnet, som kunde komma att inhibera eller på annat sätt påverka tillväxt.
2. Att utreda hur Kimitvattnet som kvävekälla påverkade tillväxt i jämförelse med det befintliga gödselmedlet Rika S under lika förutsättningar i övrigt.

Kimitvattnets potential som råvara beskrivs i den här rapporten genom erhållna resultat utifrån uppmätta tillväxtparametrar, samt genom iakttagelsen av att ingen av försöksplantorna dog under försöksperioden, vid behandling med, och genom upptag av Kimitvattnet.

5.1 Vattenanalys

Den initiala vattenanalysen visade på relativt låga halter av spårämnen i förhållande till rådande riktlinjer för dricksvatten (LIVSFS 2003:45). Kväve är den ingrediens i sprängämnet som utgör procentuellt sett den största komponenten och är också dominerande i spillvattnet vilket vattenanalysen visar. Kvävenivån var den enda parameter där gränsvärdet i dricksvatten överstegs, vilket kan betraktas som positivt ur ett gödslingsperspektiv då just kvävet är en viktig komponent i konstgödsel (Srivastava och Singh 1999). Inte heller vad gäller odlingsvatten överstegs rekommenderade maxdoser av spårämnen eller tungmetaller i det outspädda Kimitvattnet (Tabell 9). Därmed gjordes bedömningen att denna faktor varken skulle inhibera eller i övrigt påverka tillväxten på ett betydande sätt för den här studien. Eftersom olika växter reagerar på, samt tolererar spårämnen i olika utsträckning (Påhlsson 1988), valdes dricksvatten som en generell riktlinje i bedömningen av Kimitvattnets gödslingspotential. Tanken var att detta på sikt skulle göra försökets upplägg applicerbart på vidare försök, och på ett bredare spektrum av växter och trädslag än de arter som inkluderades här.

Noterbart är att vattnet som användes i den här studien inhämtades vid två tillfällen i september och att det vattnet sedan användes under hela försöket. Det är tänkbart att vatten vid andra provtagningstillfällen eller löpande under till exempel ett produktionsår kommer att variera i fråga om totalinnehåll av spårämnen samt övriga mätvärden. Dock är inkommande vatten till Kimits produktion klassat som dricksdugligt och därför är det rimligt att också anta att endast olika aktiviteter vid sprängämnesproduktionen kan påverka vattensammansättningen innan den når punkten där vattnet lämnar fabriken. Att vattenanalysen skedde på vatten från provtagningsstationen och inte på det faktiska vatten som inhämtades vid fabriken kan innebära en felkälla vad gäller antaganden kring spårämnen. Eftersom mätstationen ligger placerad efter fabriken i avloppsflödet och vattnet inte lämnar området på annat vis bör dock rimligen uppmätta värden vid mätstationen inte överstigas inne på området. Det här antagandet kan påverkas av vattenflöde och tidpunkt för mätning. Att halterna av spårämnen var så låga indikerar dock i samband med de faktiska tillväxtresultat vi uppnått att toxicitet inte har påverkat växterna på ett fatalt sätt. Det går dock inte att utesluta att någon faktor i vattnet kan ha varit måttligt inhiberande för tillväxt eller påverkat näringsupptag, alternativt kan det vara en faktor som ligger till grund för de färgskiftningar som uppstod under försökets senare del. Om så vore fallet talar det ändå för att kvävekällan i Kimits spillvatten erbjuder en stor potential eftersom växterna som behandlats med Kimitvatten i många avseenden inte gick att skilja i rena tillväxtparametrar från de som behandlats med befintligt gödselmedel.

5.2 Tillväxt

I det här försöket bedömdes hur tillgången på ammonium (NH_4^+) och nitrat (NO_3^-) d.v.s. kvävekällan i Kimits spillvatten har påverkat tillväxt hos försöksarterna, men också i vilken grad tillväxten kunde anses jämförbar med ett befintligt gödselmedel. Hypotesen för

odlingsförsöket var att tillväxten för Kimitvattnet och Rika S vid samma kvävekoncentration skulle generera lika hög grad av tillväxt, vilket visade sig stämma i 12 av 15 uppmätta parametrar. Antagandet baserades på att såväl nitrat- som ammoniumkväve är växttillgängliga former, samt att det finns en stark koppling mellan tillgänglig kvävemängd och producerad biomassa (Tamm 1991; Raven m.fl. 1999). För att bedöma Kimitvattnet utifrån dess potential som råvara i gödsel användes Kimitvattnet som kväveingrediens tillsammans med en stam av mikro och makronäringsämnen som designats för att motsvara innehållet i det kommersiella gödselmedlet Rika S vid samma totala kvävekoncentration. Resultaten av odlingsförsöket visar att ökan koncentration av tillsatt kväve i form av Kimit's spillvatten hade en positiv tillväxteffekt på plantorna samt att tillväxten för flera parametrar inte kunde skiljas statistiskt från den som uppmättes hos plantor som behandlades med målreferensen Rika S.

Effekten av kvävet i Kimit's spillvatten syns tydligast genom den uppmätta tillväxten hos plantor behandlade med Kimit 3.5mmol + mikro- och makronäringsämnen (B3) och Kimit 7mmol + mikro- och makronäringsämnen (B4). B3-behandlade plantor har under det här försöket vuxit ungefär hälften så mycket som plantor behandlade med B4 vilket indikerar en stark koppling till den koncentration av Kimitkväve som skiljer de båda behandlingarna åt. För lövträden bekräftades denna kväveeffekt främst i ovanjordsdelarna men också i rotdelarna genom att tillväxten för dessa var i det närmaste hälften av den som gick att uppmäta i B4

I Kimit 7mmol (B2) begränsades tillväxten av brist på övriga näringsämnen och biomassan i B2 symboliserar därför den totala effekten av plantans förmåga att tillgodogöra sig näring endast i form av Kimitkvävet. Mikro- och makronäringseffekten blir tydligast vid jämförelse av Kimit 7mmol + mikro- och makronäringsämnen (B4) Växte bättre än Kimit 7mmol (B2) vad gäller Plantor som behandlades med B2 växte i många avseenden bättre än Avjonat vatten + mikro- och makronäringsämnen (B1) trots att övriga näringsämnen saknades. Den effekten syns statistiskt främst i aspen och contortans ovanjordsdelar. Den begränsade tillväxt som såväl B1 som B2 uppvisar i jämförelse med övriga behandlingar, understryker vikten av att samtliga essentiella näringsämnen finns tillgängliga i ett komplett gödselmedel, samt att sammansättningen av dessa ligger inom ramen för vad växter behöver (Raven mfl 1999). Att B1 innehöll den grupp av plantor som växte sämst/minst genom hela försöket är den tydligaste indikatorn på kvävet's roll i gödslingsssammanhang. Detta faktum ger tillsammans med övriga resultat relevans åt den här studien och visar att det finns en nytta i att använda Kimit's kväverika spillvatten i sammanhanget.

Contortan indikerade att avjonat vatten B1 skiljde sig från de övriga behandlingarna i 3 av 5 tillväxtparametrar men i övrigt gick det inte att skilja någon av behandlingarna från varandra, vilket kan bero på artspecifika egenskaper. Resultatet för contortans tillväxt visar återigen på hur viktigt kväve är för tillväxt eftersom kväveinnehåll är den faktor som skiljer avjonat vatten (B1) från de övriga behandlingarna. Contortan är ett relativt snabbväxande barrträd i Sverige men det är ändå möjligt att den trots det hade behövt ingå i försöket under en längre tid för att kunna indikera större skillnader mellan behandlingarna. Olika växtarter varierar i fråga om genetisk kapacitet och preferens att tillgodogöra sig specifika kväveformer (Min m.fl. 1998; Bledsoe och Rygiiewicz 1986; Chapin m. fl. 1993). Eventuella skillnader vi kunnat uppmäta i tillväxtresultat mellan behandlingen med Kimit (B4) och Rika S (B5) hos samtliga försöksplantor kan därför delvis förklaras av valet av arter som inkluderades i försöket. Studier har visat att Asp (*Populus Tremula*) har relativt hög kapacitet att anskaffa sig nitrat (Min m. fl. 1999) vilket stämmer överens med hur primära successionsarter generellt anpassat sig till det faktum att nitrat är den kväveform som dominerar störningsdrabbade marktytor (Matson och Vitousek 1981; Kronzucker m.fl. 1997). Contorta som i och för sig också är en primär

successionsart kan å andra sidan inte lika väl tillgodogöra sig nitrat, utan föredrar istället att i större utsträckning nyttja ammonium som kvävekälla (Bigg and Daniel 1978). Även om arter föredrar en viss kvävekälla förekommer oftast upptag av både ammonium och nitrat (Kronzucker m.fl. 1997). Hur sammansättningen av de båda kväveformerna har spelat in i det här försöket går bäst att utläsa av skillnaden mellan behandling 4 och 5 där kvävekoncentrationen varit lika hög men den inbördes fördelningen på ammonium och nitrat har skiljt sig åt. Kvävetillgänglighet och dess assimilering i växter varierar beroende på vilken kvävekällan är (Gruffman m.fl. 2013) vilket kan ha spelat in i den här studien. Den totala biomassan (g torrsvikt) som genererades i det här försöket uppgick till 0.1 ± 0.02 för contorta, 0.65 ± 0.1 för glasbjörk samt 0.97 ± 0.11 för asp vid behandling med Rika S (B5) där nitrat är den dominerande kväveformen. I Kimit (B4) där ammonium förekommer i motsvarande omvänt förhållande, uppgick den totala biomassan till 0.09 ± 0.03 för contorta, 0.55 ± 0.09 för glasbjörk samt 0.87 ± 0.13 för asp. Dessa resultat kan sättas i relation till Gruffman m.fl. (2013) där man med kvävegödsling i form av ammonium uppnådde 1.87 ± 0.10 g torrsvikt hos försöksplantorna, medan nitratkvävegödsel under samma förhållanden genererade 1.78 ± 0.1 g torr biomassa. Skillnader i tillväxt mellan Kimit (B4) och Rika S (B5) behöver dock inte direkt tillskrivas förekomsten av olika kväveformer utan kan eventuellt också härledas till att näringsstammen som användes för att komplettera behandling 1, 3 och 4 utgjordes av en annan uppsättning av salter än de som återfanns i Rika S. Koncentrationen av nödvändiga näringsämnen var dock densamma.

Ståndortsanpassad användning av gödselmedel är en förutsättning för att optimala odlingsresultat ska uppnås samtidigt som risken för negativa bieffekter minskar (Brady och Weil. 2002). Tidpunkten för gödsling bör också vara under den aktiva tillväxtperioden då växterna som bäst kan tillgodogöra sig näringsämnen. I naturen är jordmånen sällan så näringsfattig som den miljö vi åstadkom för att bäst se effekten av olika näringsämnen i det här försöket. Detta betyder mest troligt att en giva av Kimit 7mmol (B2) i en naturlig miljö borde ge en bättre tillväxteffekt än den vi kunde uppmäta i växthus på näringsfri torv och vermikulit. Även om man skulle uppnå en bättre gödslingseffekt i naturen där alltid en viss mängd näringsämnen finns i substratet, kan det ändå fastslås att tillsats av Kimitvattnet i sin rena form har en positiv effekt på tillväxt om än den är liten i frånvaro av andra näringsämnen då dessa blir begränsande i nästa steg. Ju mer komplett ett gödselmedel är för ändamålet, desto bättre kommer växten att kunna tillgodogöra sig kväve och binda in det i sin biomassa (Brady och Weil 2002). Betraktar man Kimitvattnet endast som restprodukt finns det alltså en större möjlighet till avsättning för kvävet då det distribueras tillsammans med övriga näringsämnen. När sammansatta näringsämnen är välbalanserade och tillsatta under rätt omständigheter, ökar tillväxten och med den, plantors förmåga att binda in såväl näringsämnen som koldioxid i sin biomassa. Ju större tillväxt som uppnås desto bättre kan också växten utveckla sin fotosyntesapparat som binder in koldioxid vilket i växten omvandlas till kolhydrater (Raven m.fl. 1999). Ökad tillväxt kan därmed minska risken för läckage av näring (Brady och Weil 2002) samt kan indirekt leda till en positiv miljönytta genom minskade koldioxideffekter i atmosfären (Scholz och Hasse 2008; Oren m.fl. 2001;).

5.3 Kol/kväveinnehåll

För att utvärdera om eventuella skillnader i gödslingseffekt visade sig i växternas gröndelar analyserades kol och kväveinnehållet växternas skott från Kimit 7mmol + mikro och makronäringsämnen (B4) och från Rika S 7mmol (B5). Ingen sådan effekt gick att påvisa efter analys. Att ingen statistiskt signifikant skillnad kunde påvisas vid jämförelse mellan Kimit och

Rika S skulle kunna vara en indikator på att kvävet i Kimit's spillvatten tas upp och allokeras i växten på samma sätt som kvävekällan i Rika S. I det här försöket har dock inte allokering av näringsämnen mätts. Kväveandelen (N%) som uppmättes i gröndelarna hos försöksplantor som gödslats med Kimit (B4) som innehåller en högre andel ammonium, var i storleksordningen 1,50-2,57 % N. I Rika S (B5) där kvävet förekommer övervägande som nitrat, uppgick N% till 1,92-2,72. I Gruffman m.fl. (2013) uppmättes kvävekoncentrationen hos plantor som behandlats med ammonium som kvävekälla till 2.19 ± 0.07 , medan plantor som mottagit kvävet i nitratform nådde en kvävekoncentration på 1.71 ± 0.05 . I den senare nämnda studien bestod försöksplantorna av tall och studien pågick under en längre tid. Storleksordningen på kvävekoncentrationen i de båda försöken kan dock betraktas som relativt jämförbara. Att behandling med Kimit (B4) jämfört med Rika S (B5) utifrån ytterligare en parameter inte går att skilja statistiskt kan i sammanhanget tolkas som en positiv indikation med avseende på potentialen i att nyttja Kimitvattnet som kvävekälla i gödslingssammanhang.

5.4 pH i odlingssubstratet (före och efter)

I det här försöket användes kalkad torv som odlingssubstrat för att bibehålla ett pH-värde som passade alla arter i experimentet, samt för att se en kväveeffekt under en kort experimenttid. pH mättes också för att kontrollera att inga större förändringar skedde till följd av de olika behandlingarna. pH ställdes i samtliga lösningar till 5.8 eftersom de flesta näringsämnen då blir lättillgängliga för växtupptag (Taiz och Zeiger 2010; Lucas och Davies 1961).

I slutet av försöket kunde vi notera att pH i jorden var lägre för alla behandlingar och arter, än det pH som kunde uppmätas från början. Mätningar av pH-värden representeras i det här försöket av ett poolat resultat varför slutsatser kring pH-värdets effekt på kväveupptag eller eventuella skillnader mellan art och behandling inte är möjligt. Odlingssubstratet kan dock sägas ha haft en buffrande effekt på pH i 13 av 15 fall vilket visar sig genom att pH efter behandling var högre i substratet än i själva lösningen som tillsattes krukorna. I en naturlig miljö är markens buffringsförmåga varierande (Brady och Weil 2002) och det är därför svårt att baserat på det här odlingsförsöket, göra generella antaganden om i vilken grad behandlingarna som använts, skulle ha en försurande effekt i naturliga miljöer eller under andra förutsättningar.

pH styr hur växttillgängliga näringsämnen är genom att påverka deras löslighet samt i vilken grad de binds till jordpartiklar. Förändringar i pH kan därför påverka hur näringsämnen tas upp, förekommer i marklösningen eller i vilken grad de är benägna att lakas ut (Brady och Weil 2002). Försöksplantornas upptag av näringsämnen kan också i sig ha påverkat pH-värdet i substratet. Till exempel kan upptag av ammonium ha haft en försurande effekt eftersom rotcellens membran utgör en elektrokemisk gradient. Upptag av t.ex. ammonium, kalium och kalcium (NH_4^+ , K^+ och Ca^{2+}) har en försurande effekt genom att rotcellen skickar ut vätejoner (H^+) och därmed ökar den elektrokemiska gradienten som driver upptaget av många positivt laddade joner. Effekten på pH av näringsupptaget i det här försöket bör dock vara underordnad tillsatsen av lösningar med pH 5.8. Detta dels på grund av den korta försöksperioden men också eftersom plantorna och deras rotsystem under försöket ännu var relativt små.

5.5 Växternas utseende

De färgskiftningar som uppträdde i odlingsförsökets senare skede, främst hos plantor som behandlats med B1-B4, kan vara ett tecken på näringsbrist. I en liknande studie där man studerat effekten av kvävegödsling ökades kvävegivan efter 11 veckors behandling (Gruffman m. fl. 2013), något vi inte gjorde i det här försöket eftersom försöksperioden var så kort som 8 veckor totalt. Detta faktum skulle möjligen kunna förklara färgskiftningen i egenskap av ett bristsymptom som följd av att ökning av kvävegivan inte följde plantornas ökande tillväxt. Eftersom de plantor som behandlats med Rika S i mindre utsträckning skiftade färg kan man spekulera kring om tillgängligheten av näringsämnen har varit lägre hos de Kimitbehandlade individerna. Möjligen har näringsämnen lakats ut i högre grad, eller på annat sätt blivit begränsade i fråga om upptag.

Färgskiftningen skulle också kunna bero på att ammonium som tas upp i för höga koncentrationer riskerar att bli toxiskt för växter. Detta skulle kunna förklara varför färgen uppträdde hos plantor i behandling 2-4 alltså dom som behandlats med Kimit's spillvatten där förhållandet mellan ammonium och nitrat är förskjutet mot ammonium. Dock kan det inte förklara färgskiftningen i behandling 1 där ingen kväveform tillsatts. Anledningen till färgskiftning hos plantor som fått behandling 1 kan mest troligt tillskrivas själva bristen på kväve eller hur kvävebristen indirekt begränsar växtens tillgodogörande av övriga näringsämnen. Färgskiftningar i bladen hos försöksplantor i behandling 1-4 kan således också vara brist på fosfor som ibland tar sig uttryck i dylika symptom (Smith mfl 2010; Raven m.fl. 1999; Taiz och Zieger 2010). Det bör beaktas att växternas färgskiftningar kan vara symptom på olika saker i de olika behandlingarna. Iså fall kan färgskiftningarna inte per automatik antas vara samma symptom hos växter i de olika behandlingsgrupperna. pH-värdet kan vara en faktor som påverkar näringsupptag och som sammantaget med färgskiftningarna bör studeras närmare om man avser använda Kimitkvävet som råvara i gödsel.

5.6 Möjliga användningsområden

Det här försöket kan betraktas som en pilotstudie med avseende på användning av Kimitkvävet som gödsel och resultaten indikerar att möjligheten kan vara värd att undersöka vidare. Med tanke på det behov av kväve som finns inom skogsbrukssektorn kan teoretiskt Kimitfabrikens årliga kväverestprodukt räcka till ca 10 ha vid en gödslingsintensitet på 450kg N/ ha vilken är i enlighet med skogsstyrelsens rekommendationer för norra delen av Sverige (Fig 3). Väljer man att gödsla med 150 kg N/ ha på så kallat konventionellt sätt, så räcker kvävet i Kimit's spillvatten till att gödsla 30 ha /år.

Skogsgödsling sker i dagsläget oftast genom spridning med helikopter eller traktor (Skogsskötselserien 16), samt ofta i granulerad form vilket tillåter näringsämnena att perkolera genom markhorisonterna tillsammans med regnvatten. Metoden gör att gödselgivan tillgängliggörs succesivt och därmed minskar risken för utlakning av näringsämnen (Seward E. A. 1984; Lomander. 2016). Att sprida Kimitkvävet i den lösta form som det har i dagsläget skulle kunna innebära dels dyra omkostnader för transport till ståndorten som ska gödslas, men också att själva spridningen blir svår att styra med avseende på jämnhet. Det skulle kunna tas för troligt att en mängd kvävegödsel som tillförs i löst form löper större risk att urlakas innan vegetationen hinner ta upp gödselgivan vilket motverkar själva syftet med skötselåtgärden samt kan leda till negativa bieffekter så som läckage och övergödning i sjöar och vattendrag

(Skogsgödsling 2015). Eftersom kvävet i dagsläget förekommer som restprodukt i löst form och inga skogsgödslingsförsök ännu har gjorts, anser jag det lämpligt att istället initialt prova sig fram med distribuering i löst form i andra sammanhang där det kan vara mer praktiskt genomförbart.

I till exempel plantskolor använder man i dagsläget nästan uteslutande flytande gödselmedel vid odling av täckrotsplanter vilket skulle kunna vara ett alternativt användningsområde för Kimitkvävet. Enligt Skogforsk (Skogforsk 2015) kan ett räkneexempel med 500 granplanter m^{-2} innebära att 20 g kväve distribueras m^{-2} och tillväxtsäsong. Kvävet från Kimitfabriken skulle årligen i det fallet kunna räcka till 224,25 m^2 och gödsel för 112 125 planter.

Hydroponics är en annan odlingsmetod där planter växer med rötterna direkt i vatten eller en näringslösning utan ett odlingssubstrat (Jones Jr, J. B. 2004). Denna odlingsform är ett exempel på ytterligare en metod där kvävet i Kimit vatten skulle kunna nyttjas i sin befintliga form och utan några större omvandlingssteg. Likt i det här försöket skulle en sam av övriga växnäringsämnen (Tabell 2 och 6) kunna tillsättas så att ett komplett flytande gödsel erhålls. Denna lösning skulle sedan cirkulera i ett system där man bedriver odling. Om detta system skulle placeras i anslutning till LKABs industriområde skulle sträckan som gödslet måste fraktas vara förmånlig och dessutom kan potentiellt andra restprodukter så som spillvärme från pelletsproduktion eller fosfor från malmbrytningen kunna nyttjas för att i kombination med ett växthus skapa en grön oas i ett annars kargt klimat. Med kontinuerliga mätningar av innehållet i den löpande näringslösningen, samt vidare odlingsförsök med ätbara grödor, kan kanske även lokalt producerade grönsaker vara ett miljövänligt sätt för LKAB att ta hand om sina restprodukter, gynna lokalsamhället och därmed bli banbrytande inom gruvindustrin.

6. Slutsatser/Rekommendationer

Kvävet i Kimit's spillvatten hade en positiv tillväxteffekt på främst lövträdslantorna i det här försöket. Detta kan främst tolkas ur resultatet av behandling med Kimit 3.5mmol (B2) samt Kimit 7mmol (B4) där ökad koncentration Kimitkväve genererade högre tillväxt enligt uppmätta parametrar.

Kimit B4 var genom tillsats av mikro- och makronäringsämnen teoretiskt jämförbart med det befintliga gödselmedlet Rika S (B5). I det här försöket var de båda behandlingarna (B4 och B5) även praktiskt jämförbara, och för 12 av 15 parametrar inte statistiskt åtskiljbara. Detta tyder på att kvävekällan i Kimit's spillvatten besitter potential som råvara i gödselmedel.

En kombination av näringsämnen så som främst kväve, fosfor och kalium, innebär en ökad potential för tillväxt och innebär därmed också större möjlighet till avsättning för kvävet i Kimit's spillvatten. Denna effekt framträder tydligast genom jämförelse mellan Kimit 7mmol (B2) och Kimit 7mmol + mikro- och makronäringsämnen (B4) där mikro- och makronäringsämnen är det som skiljer behandlingarna åt.

På grund av den korta tidsperioden som det här försöket har pågått och på grund av det begränsade urvalet av arter som ingått, är försöket att betrakta som en pilotstudie i frågan om Kimitvattnets potential som råvara i gödselmedel. Resultaten av det här försöket har i sammanhanget varit positiva men bör kompletteras med vidare studier för att man med större säkerhet ska kunna fastställa effekten av Kimitvattnet i odlingssammanhang.

Kontinuerliga mätningar av kvävehalter i den nya cisternen rekommenderas eftersom de kan indikera hur spädning ska ske vid användning av vattnet för vidare gödslingsförsök. Kontinuerliga mätningar kommer också att kunna indikera om gränsvärden uppnås eller närmar sig toxiska nivåer. Man bör vid eventuell planerad användning, också testa näringsinnehållet på de marker där Kimitvatten är tänkt att tillsättas för att reda ut vilka näringsämnen som finns naturligt tillgängliga, samt i vilken koncentration de förekommer i markvätskan. I och med detta finns en bättre möjlighet att förutsäga effekten av Kimitvattnet om det tillsätts direkt från sprängämnesfabriken, dvs som kvävegödsel i sin rena form, utan förbehandling eller som del i ett sammansatt gödsel.

Baserat på den här studien rekommenderas att vidare försök utgörs av:

- En längre försöksperiod
- Ett bredare spektrum av arter (t.ex. försök med grödor som bättre kan indikera potentiell avsättning och marknad inom jordbrukssektorn).
- Jämförelser mot andra befintliga gödselmedel än Rika S.
- Gödslingdförsök med hjälp av hydroponicsystem för att undersöka möjligheter till distribuering av råvaran i löst form.

Det kan också tänkas vara en bra idé att undersöka möjligheten till användning av Kimitvattnet som gödselråvara inom till exempel en plantskola. Där kan småplantor drivas upp under kontrollerade former och effekter av Kimitvattnets inkorporering i gödselgivan kan studeras och jämföras mot andra befintliga gödsel och metoder.

7. Referenser

- Ahlgren, S. Bauer, F. & Hulteberg, C. (2015). Produktion av kvävegödsel baserad på förnybar energi.
- Albertsson, B. & Blomquist, J. (2009). Riktlinjer för gödsling och kalkning 2010.
- Ayers, R. S. & Westcot, D. W. (1976). Quality of Water for Agriculture. *Translation HR*.
- Bigg, W. L. & Daniel, T. W. (1978). Effects of nitrate, ammonium and pH on the growth of conifer seedlings and their production of nitrate reductase. *Plant and Soil*, 50(1-3), 371-385.
- Bledsoe, C. S. & Rygiewicz, P. T. (1986). Ectomycorrhizas affect ionic balance during ammonium uptake by douglas-fir roots. *New phytologist*, 102(2), 271-283.
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (1999). The nature and properties of soil 12th ed.
- SCB. (2014). *Statistisk årsbok för Sverige*. Stockholm: Statistiska Centralbyrån.
- Chapin F.S. III, Moilanen L. Kielland K. (1993) Preferential use of organic nitrogen for growth by a non-mycorrhizal arctic sedge. *Nature* 361, 150-153.
- Galloway, J. N. Schlesinger, W. H. Levy, H. Michaels, A. & Schnoor, J. L. (1995). Nitrogen fixation: Anthropogenic enhancement-environmental response. *Global Biogeochemical Cycles*, 9(2), 235-252.
- Gruffman, L. Palmroth, S. & Näsholm, T. (2013). Organic nitrogen uptake of Scots pine seedlings is independent of current carbohydrate supply. *Tree physiology*, 33(6), 590-600.
- Heichel, G. H. & Helsel, Z. R. (1987). Legume nitrogen: symbiotic fixation and recovery by subsequent crops. *Energy in plant nutrition and pest control. Energy in World Agriculture*, 2, 63-80.
- Heffer, P. & Prud'homme, M. (2012, May). Short-term fertilizer outlook 2012–2016. In *IFa annual conference, 80th, Doha, Qatar*.
- Hedin, L. O. Armesto, J. J. & Johnson, A. H. (1995). Patterns of nutrient loss from unpolluted, old-growth temperate forests: evaluation of biogeochemical theory. *Ecology*, 76(2), 493-509.
- Jarvis, P. & Linder S. (2000). Constraints to growth of boreal forests. *Nature* 405: 904-905
- Johansson, K. Ring, E. Högbom, L. (2013). Effects of pre-harvest fertilization and subsequent soil scarification on the growth of planted *Pinus sylvestris* seedlings and ground vegetation after clear-felling. *Silva Fennica* 47(4) 18 s.
- Jones Jr, J. B. (2004). *Hydroponics: a practical guide for the soilless grower*. CRC press.

- Kandemir, T. Schuster, M. E. Senyshyn, A. Behrens, M. & Schlögl, R. (2013). The Haber–Bosch Process Revisited: On the Real Structure and Stability of “Ammonia Iron” under Working Conditions. *Angewandte Chemie International Edition*, 52(48), 12723-12726.
- Kronzucker, H. J. Siddiqi, M. Y. & Glass, A. D. (1997). Conifer root discrimination against soil nitrate and the ecology of forest succession. *Nature*, 385(6611), 59-61.
- Larsson, B. (2004). Träd och buskar i norr. Skogsvårdsstyrelsen Norrbotten.
- Lindahl, S. (2014). Damningsbekämpning genom trädetablering – En studie över vilka trädarter som kan minska diffus damning från LKAB:s industriområde i Kiruna
- LIVSFS 2003:45. (2003). Livsmedelsverkets föreskrifter om naturligt mineralvatten och källvatten. [Online] Tillgänglig: <http://www.livsmedelsverket.se/om-oss/lagstiftning1/gallande-lagstiftning/livsfs-200345/> [2016-04-07]
- LKAB. (2014). Miljörapport LKAB Kimit AB 15-759
- LKAB. (2015). Om oss – Koncernöversikt. [Online] Tillgänglig: <http://www.lkab.com/sv/om-oss/Koncernoversikt/> [2016-04-07]
- Lomander, A. (2016) Skogsvårdsstyrelsen. Swedish education material package – Aska, innehåll och hårdning. pp 48. [Online] Tillgänglig: [http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Projekt/RecAsh/Utbildningsmaterial%20Education%20Material/1.%20Utbildningsmaterial%20p%C3%A5%20svenska%20Swedish%20Education%20Package/2.%20Sv%C3%A5r%20Advanced/Utbildningspaket,%20sv%C3%A5r%20\(svenska\).pdf](http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Projekt/RecAsh/Utbildningsmaterial%20Education%20Material/1.%20Utbildningsmaterial%20p%C3%A5%20svenska%20Swedish%20Education%20Package/2.%20Sv%C3%A5r%20Advanced/Utbildningspaket,%20sv%C3%A5r%20(svenska).pdf) [2016-04-07]
- Lucas, R. E. & Davis, J. (1961). Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. *Soil Science*, 92(3), 177-182.
- Matson, P. A. & Vitousek, P. M. (1981). Nitrogen mineralization and nitrification potentials following clearcutting in the Hoosier National Forest, Indiana. *Forest Science*, 27(4), 781-791.
- McCauley, A. Jones, C. & Jacobsen, J. (2009). Plant nutrient functions and deficiency and toxicity symptoms. *Nutrient management module*, 9, 1.
- Min, X. Siddiqi, M. Y. Guy, R. D. Glass, A. D. M. & Kronzucker, H. J. (1998). Induction of nitrate uptake and nitrate reductase activity in trembling aspen and lodgepole pine. *Plant, Cell & Environment*, 21(10), 1039-1046.
- Nohrstedt, H. Ö. (2001). Response of coniferous forest ecosystems on mineral soils to nutrient additions: a review of Swedish experiences. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 16(6), 555-573.
- Näsholm, T. Kielland, K. & Ganeteg, U. (2009). Uptake of organic nitrogen by plants. *New Phytologist*, 182(1), 31-48.

- Näslund, B. Å. Stendahl, J. Samuelsson, H. Karlsson, L. Kock-Hansson, G. Svensson, H. & Engvall, C. (2013). Kvävegödsling på skogsmark. *Underlag för Skogsstyrelsen Föreskrifter och Allmänna Råd om Kvävegödsling*, 48.
- Olsson, B. A. & Kellner, O. (2006). Long-term effects of nitrogen fertilization on ground vegetation in coniferous forests. *Forest Ecology and Management* 237: 458–470
- Oren, R. Ellsworth, D. S. Johnsen, K. H. Phillips, N. Ewers, B. E. Maier, C. ... & Katul, G. G. (2001). Soil fertility limits carbon sequestration by forest ecosystems in a CO₂-enriched atmosphere. *Nature*, 411(6836), 469-472.
- Persson, B. Figur PR14. Ståhl, P. H. (2009). Produktionshöjande åtgärder. Skogsskötselserien del 16. Skogsstyrelsen . [Online] Tillgänglig: www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien [2016-04-07]
- Påhlsson, A. M. B. (1989). Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 47(3-4), 287-319.
- Raven, P. H. Evert, R. F. & Eichhorn, S. E. (1999). *Biology of plants*. Sixth Edition.
- Rytter, L. (2004). *Produktionspotential hos asp, björk och al: en litteraturstudie över möjligheter till och konsekvenser av biomassa-och gagnvirkesuttag*. Skogforsk.
- Riksskogstaxeringen (2014). Statistik om skog från Riksskogstaxeringen. [Online] Tillgänglig: <http://www.slu.se/sv/webbtjanster-miljoanalys/statistik-om-skog/skogsmark/> [2016-04-07]
- Rockström, J. Steffen, W. Noone, K. Persson, Å. Chapin, F. S. Lambin, E. F. ... & Nykvist, B. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472-475.
- SCB. (2014). *Statistisk årsbok för Sverige* . Stockholm: Statistiska Centralbyrån.
- Scholz, F. & Hasse, U. (2008). Permanent wood sequestration: the solution to the global carbon dioxide problem. *ChemSusChem*, 1(5), 381-384.
- Seward, E. A. (1984). Slow-release nitrogen fertilizers. *Nitrogen in crop production*, (nitrogenincropp), 195-206.
- Ståhl, P. H. (2009). Produktionshöjande åtgärder. Skogsskötselserien del 16. Skogsstyrelsen . [Online] Tillgänglig: www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien
- Smil, V. (1999). Detonator of the population explosion. *Nature*, 400(6743), 415-415.
- Smith, A, M. Coupland, G. Dolan, L. Harberd, N. Jones, J. Martin, C. Sablowski, R. Amey, A. (2010) *Plant Biology*.
- SKSFS 2007:3, 2007. Skogsstyrelsens allmänna råd för ledning för hänsyn enligt 30 § skogsvårdslagen (1979:429) vid användning av kvävegödsel på skogsmark.

Srivastava, H. S. & Singh, R. P. (1999). *Nitrogen nutrition and plant growth*. Science Publishers, Inc.

Strengbom, J. Nordin, A. Näsholm, T. & Ericson, L. (2001). Slow recovery of boreal forest ecosystem following decreased nitrogen input. *Functional Ecology* 15: 451–457

Strengbom, J. & Nordin, A. (2008). Commercial forest fertilization causes long-term residual effects in ground vegetation of boreal forests. *Forest Ecology and Management* 256: 2175–2181

SveBefo. 2006. Stiftelsen Svensk Bergteknisk Forskning. *Vattenburna kväveutsläpp från sprängning och sprängstensmassor*. Rapport 72. ISSN 1104-1773, 80 pp.

Taiz, L. & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology*. Fifth Edition.

Tamm, C. O. (1991). Nitrogen in Terrestrial ecosystems – *Questions of Productivity, Vegetational changes, and Ecosystem Stability*. Springer-Verlag.

Van Breemen, N. (2002). Nitrogen cycle: Natural organic tendency. *Nature*, 415(6870), 381–382.

Vance, C. P. Graham, P. H. & Allan, D. L. (2000). Biological nitrogen fixation: phosphorus-a critical future need?. In *Nitrogen fixation: From molecules to crop productivity* (pp. 509–514). Springer Netherlands.

Vitousek, P. M. Aber, J. D. Howarth, R. W. Likens, G. E. Matson, P. A. Schindler, D. W. ... & Tilman, D. G. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological applications*, 7(3), 737–750.

Vincent, A. Ilstedt, U. Vestergren, J. Giesler, R. Persson, P. Gröbner, G. Schleucher, J. 2(013). *Fosfor – Nödvändigt för skogens tillväxt*. Fakta Skog. 4.

8.1 Bilaga 1. Områdeskarta Kimit



8.2 Bilaga 2. Analysdata Kimitvatten

Data i tabellen representerar ett medelvärde av 3 provtagningstillfällen:

2015-09-07

2015-09-21

2015-10-04

Parameter	Kemisk benämning	Medelvärde	Enhet	g/l
Nitrat	NO ₃ -N	266,67	mg/l	0,266666667
Koppar	Cu	0,0026	mg/l	2,61333E-06
Barium	Ba	0,0013	mg/l	1,34333E-06
Flourid	F	0,25	mg/l	0,000251333
Mangan	Mn	0,00	mg/l	0
Krom	Cr	0,17	mg/l	0,000172667
Nickel	Ni	0,00024	mg/l	2,38467E-07
Bly	Pb	0,42	mg/l	0,000415
Arsenik	As	0,000035	mg/l	3,48667E-08
Kadmium	Cd	0,0004	mg/l	3,89333E-07
Ammonium	NH ₄ -N	347,33	mg/l	0,347333333
TOTALKVÄVE	N_tot	343,00	mg/l	0,343
Natrium	Na	169,33	mg/l	0,169333333
Sulfat	Sulfat	63,17	mg/l	0,063166667
Kvävedioxid	NO ₂ -N	42,70	mg/l	0,0427
Kalsium	Ca	39,83	mg/l	0,039833333
Totalt organiskt innehåll	TOC	8,60	mg/l	0,0086
Kalium	K	6,70	mg/l	0,006703333
Klorid	Cl	4,31	mg/l	0,004313333
Magnesium	Mg	2,26	mg/l	0,002263333
Kisel	Si	1,33	mg/l	0,001328
TOTALFOSFOR	P_tot	0,94	mg/l	0,000938
Molybden	Mo	0,85	mg/l	0,000852333
Fosfatfosfor	PO ₄ P	0,69	mg/l	0,000687333
Zink	Zn	0,096	mg/l	9,58667E-05
Järn	Fe	0,066	mg/l	0,000066
Aluminium	Al	0,05	mg/l	0,0000533
Kobolt	Co	0,01	mg/l	1,05233E-05
Vanadin	V	0,0046	mg/l	4,63333E-06
Fosfor	P	0,003	mg/l	2,91667E-06
Strontium	Sr	0,0003	mg/l	2,88333E-07
Alkalinitet		69,97	mg/l	0,069966667

8.3 Bilaga 3. Rådata Behandling 1

(Avjonat vatten + mikro och makronäringsämnen).

Individ	TOT Vikt (mg)	SKOTT Vikt (mg)	ROT Vikt (mg)	TOT Längd (cm)	SKOTT Längd (cm)	ROT Längd (cm)	Diameter (mm)
GB B1: 1	60	43	17	21,5	2,9	18,6	0,9
GB B1: 2	33	22	11	15,5	2,5	13	0,9
GB B1: 3	57	35	22	30	3,3	26,7	1
GB B1: 4	47	29	18	20,7	2,4	18,3	1
GB B1: 5	41	27	14	20,2	2,1	18,1	0,8
GB B1: 6	24	13	11	18,8	2,2	16,6	0,8
CT B1: 1	43	28	15	26	6,5	19,5	0,6
CT B1: 2	44	28	16	19,5	6,5	13	0,6
CT B1: 3	61	36	25	23,8	7,1	16,7	0,9
CT B1: 4	40	28	12	27,5	6,2	21,3	0,7
CT B1: 5	48	32	16	20	6,8	13,2	0,6
CT B1: 6	37	25	12	17,2	5,4	11,8	0,6
ASP B1: 1	66	37	29	18	2,5	15,5	1
ASP B1: 2	13	9	4	8	1,2	6,8	0,9
ASP B1: 3	21	11	10	5,4	1,2	4,2	0,8
ASP B1: 4	36	26	10	18	2,1	15,9	1
ASP B1: 5	52	32	20	24	2,2	21,8	1,1
ASP B1: 6	45	30	15	16,9	1,8	15,1	1
ASP B1: 7	35	18	17	15,5	1,5	14	1
ASP B1: 8	57	31	26	16,8	2,3	14,5	1
ASP B1: 9	25	12	13	20	1,3	18,7	0,9

8.4 Bilaga 4. Rådata Behandling 2
(Kimit 7mmol).

Individ	TOT Vikt (mg)	SKOTT Vikt (mg)	ROT Vikt (mg)	TOT Längd (cm)	SKOTT Längd (cm)	ROT Längd (cm)	Diameter (mm)
GB B2: 1	62	43	19	17	3,8	13,2	1
GB B2: 2	154	106	48	25	6,8	18,2	1,4
GB B2: 3	159	105	54	24	5,3	18,7	1,2
GB B2: 4	197	134	63	26,8	7,7	19,1	1,5
GB B2: 5	85	58	27	18,9	4,1	14,8	2
GB B2: 6	88	57	31	22,3	4,4	17,9	1,1
CT B2: 1	92	66	26	23,5	8,8	14,7	1
CT B2: 2	74	54	20	24,9	8	16,9	1
CT B2: 3	85	69	16	23	8,9	14,1	1,1
CT B2: 4	144	100	44	28,9	9,3	19,6	1,1
CT B2: 5	60	44	16	25,3	7,3	18	0,9
CT B2: 6	93	73	20	24,9	9,8	15,1	0,9
CT B2: 7	70	50	20	21,8	8,4	13,4	1
ASP B2: 1	192	130	62	19	6	13	1,9
ASP B2: 2	141	108	33	23,5	4,9	18,6	1,5
ASP B2: 3	239	166	73	23	6,1	16,9	2,5
ASP B2: 4	297	207	90	18,3	5,5	12,8	2
ASP B2: 5	168	121	47	17,2	4,3	12,9	1,5
ASP B2: 6	303	225	78	18,6	5	13,6	2
ASP B2: 7	76	55	21	17,5	3,1	14,4	1
ASP B2: 8	239	157	82	25	5,8	19,2	2
ASP B2: 9	228	168	60	19,8	5,9	13,9	2

8.5 Bilaga 5. Rådata Behandling 3.
(Kimit 3,5mmol + mikro- & makronäringsämnen)

Individ	TOT Vikt (mg)	SKOTT Vikt (mg)	ROT Vikt (mg)	TOT Längd (cm)	SKOTT Längd (cm)	ROT Längd (cm)	Diameter (mm)
GB B3: 1	309	225	84	25,5	9,8	15,7	2
GB B3: 2	379	270	109	33,1	10	23,1	2
GB B3: 3	313	226	87	24	0,2	23,8	1,9
GB B3: 4	348	237	111	27,3	8,1	19,2	2
GB B3: 5	277	205	72	24,4	10,6	13,8	1,5
GB B3: 6	178	127	51	25,8	6,9	18,9	1,4
CT B3: 1	85	64	21	36,3	10	26,3	0,9
CT B3: 2	96	72	24	29	10,8	18,2	1,1
CT B3: 3	89	61	28	29,4	10	19,4	1
CT B3: 4	82	60	22	40,5	9,5	31	1
CT B3: 5	73	56	17	31,3	9,5	21,8	0,9
CT B3: 6	113	88	25	25,2	10,8	14,4	1,1
CT B3: 7	64	53	11	19,9	8,9	11	1
ASP B3: 1	433	273	160	23,8	7,4	16,4	2,1
ASP B3: 2	397	250	147	28,5	9	19,5	2
ASP B3: 3	383	237	146	28	8,5	19,5	2
ASP B3: 4	435	292	143	25	10,2	14,8	2,1
ASP B3: 5	384	240	144	28,1	10,2	17,9	1,5
ASP B3: 6	308	206	102	27,8	8,7	19,1	2
ASP B3: 7	405	273	132	31,2	9,5	21,7	2,1
ASP B3: 8	410	284	126	25,5	7,6	17,9	2
ASP B3: 9	438	311	127	28,5	10,3	18,2	2

8.6 Bilaga 6. Rådata Behandling 4.
(Kimit 7mmol + mikro- & makronäringsämnen)

Individ	TOT Vikt (mg)	SKOTT Vikt (mg)	ROT Vikt (mg)	TOT Längd (cm)	SKOTT Längd (cm)	ROT Längd (cm)	Diameter (mm)
GB B4: 1	616	452	164	43,6	19,6	24	3,1
GB B4: 2	497	377	120	32,4	16,4	16	2,8
GB B4: 3	454	356	98	31	11,9	19,1	2,9
GB B4: 4	665	493	172	39,8	16,9	22,9	2,5
GB B4: 5	450	363	87	33,2	16	17,2	3
GB B4: 6	623	476	147	39,3	14,5	24,8	2,8
CT B4: 1	117	85	32	27	9,7	17,3	1,1
CT B4: 2	88	68	20	23,7	9,2	14,5	1
CT B4: 3	45	35	10	22,7	8,2	14,5	1
CT B4: 4	131	98	33	31,9	12	19,9	1
CT B4: 5	78	56	22	33,5	9,5	24	0,9
CT B4: 6	74	57	17	20,5	9,5	11	1
CT B4: 7	109	88	21	22,2	10,2	12	1
ASP B4: 1	836	556	280	32,3	15	17,3	3
ASP B4: 2	941	598	343	32,2	13,5	18,7	2,9
ASP B4: 3	955	660	295	33,7	18,4	15,3	3,1
ASP B4: 4	1057	755	302	36	17	19	4
ASP B4: 5	873	628	245	38,3	18,8	19,5	3
ASP B4: 6	858	626	232	37	18,6	18,4	3
ASP B4: 7	777	532	245	30,3	11,3	19	2,1
ASP B4: 8	947	657	290	36,9	18	18,9	3
ASP B4: 9	618	466	152	32,2	15,6	16,6	2,3

8.7 Bilaga 7. Rådata Behandling 5.
(Rika S 7mmol)

Individ	TOT Vikt (mg)	SKOTT Vikt (mg)	ROT Vikt (mg)	TOT Längd (cm)	SKOTT Längd (cm)	ROT Längd (cm)	Diameter (mm)
GB B5: 1	548	456	92	35	16	19	3,5
GB B5: 2	576	474	102	30	15	15	2,9
GB B5: 3	603	503	100	34	16,8	17,2	3
GB B5: 4	630	476	154	35,7	16,2	19,5	3,1
GB B5: 5	708	541	167	38	18,7	19,3	4
GB B5: 6	812	623	189	36,2	17	19,2	3,1
CT B5: 1	79	59	20	31	8,9	22,1	0,9
CT B5: 2	119	83	36	41,3	11	30,3	1
CT B5: 3	116	93	23	27,8	10,3	17,5	1,1
CT B5: 4	127	94	33	30	10,8	19,2	1,1
CT B5: 5	102	76	26	28,1	9,7	18,4	1
CT B5: 6	122	88	34	33	11,4	21,6	1
CT B5: 7	67	50	17	21	8	13	1
ASP B5: 1	900	707	193	35	18,4	16,6	3
ASP B5: 2	855	663	192	35	19,3	15,7	3
ASP B5: 3	906	690	216	40,6	20,6	20	3,1
ASP B5: 4	969	749	220	41,1	20	21,1	3
ASP B5: 5	1165	823	342	44,7	22	22,7	3,2
ASP B5: 6	916	691	225	31,3	16	15,3	3,1
ASP B5: 7	1037	747	290	35,9	17,8	18,1	3
ASP B5: 8	895	647	248	34,6	16,7	17,9	3
ASP B5: 9	1107	758	349	40	21,5	18,5	3,5

SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2015:4 Författare: Malin Boström
Do 25 years old skid tracks restrict growth and survival? – A study on growth conditions for the planted regeneration in a rainforest rehabilitation project
- 2015:5 Författare: Mikael Kullström
Naturligt föryngrade huvudstammar i röjda bestånd etablerade efter plantering på SCAs mark
- 2015:6 Författare: Sara Waern
Återskapande av biodiversitet i degraderad sekundär regnskog i Sabah, Malaysia – naturlig föryngring av träd efter restaureringsåtgärder
- 2015:7 Författare: Sandra Laestander
”Den kemiska bekämpningen av skadlig lövskog har öppnat helt nya vyer för skogsbruket” – Flygbesprutning med herbicider i Arjeplog 1953-1978
- 2015:8 Författare: Simon Bylund
Algbiomassa som gödselmedel till gran och tall
- 2015:9 Författare: Anton Wikman
Ekarna på Tullgarn – En studie om ekförekomstens utveckling och framtid
- 2015:10 Författare: Joakim Jansson
Rehabilitation in a tropical secondary rain forest in Malaysian Borneo – Early effects of canopy properties on light conditions at the forest floor
- 2015:11 Författare: Adam Klingberg
Tillväxt, överlevnad och skador för provenienser av Banksianatall (*Pinus banksiana*, Lamb.) i norra Sverige
- 2015:12 Författare: Rasmus Häggqvist
Skötselplan för Gammliaaskogen
- 2015:13 Författare: Elisabet Ekblad
Förutsättningar för naturhänsyn i bestånd med contortatall (*Pinus contorta*)
- 2015:14 Författare: Jon Wikström
Utvärdering av förmågan hos Wet Area Mapping (WAM) att beskriva markbärigheten på skogsmark intill vattendrag
- 2015:15 Författare: Jenny Tjernlund
Grundvattenkemin tre år efter askgödsling på djupa torvmarker i Norrland
- 2015:16 Författare: Anton Hammarström
Utveckling av en modell för bärighetsklassificering av skogsmark
- 2016:01 Författare: Gustaf Dal
Tree cover and tree traits affects soil carbon and soil compaction in Parklands in Central Burkina Faso
- 2016:02 Författare: Julia Mellåker
Degradation and restoration method interact to affect the performance of planted seedlings in tropical rainforest restoration – evidence from plant functional traits

Hela förteckningen på utgivna nummer hittar du på www.seksko.slu.se